FACULTAD DE INGENIERÍA

EDICIONES UC

TEXTOS UNIVERSITARIOS

Planificación y Control de Proyectos

Alfredo Serpell Bley
Luis F. Alarcón Cárdenas

PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE CHILE

Planificación
y Control de Proyectos

EDICIONES UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE
Vicerrectoría de Comunicaciones y Educación Continua
Alameda 390, Santiago, Chile

editorialedicionesuc@uc.cl
www.ediciones.uc.cl

Planificación y Control de Proyectos
Alfredo Serpell Bley y Luis Fernando Alarcón Cárdenas

© Inscripción N° 1234567890
Derechos reservados
Enero 2001
ISBN 978-956-14-1517-1

Reimpresión cuarta edición, marzo 2015

Diseño de Portada:
versión | producciones gráficas ltda.

Impresor:
Salesianos Impresores S.A.

CIP-Pontificia Universidad Católica de Chile

Planificación y Contrl de Proyectos /
Alfredo Serpell bley, Luis Fernando Alarcón Cárdenas

1. Administración de proyectos industriales
2. Alarcón Cárdenas, Luis Fernando.
II. t.

2000 658.404 dc21 RCAA2

FACULTAD DE INGENIERÍA

Planificación y Control de Proyectos

Alfredo Serpell Bley
Luis F. Alarcón Cárdenas

EDICIONES UC

ÍNDICE

I FUNDAMENTOS DE LA PLANIFICACIÓN DE PROYECTOS 11
1.1 Introducción 11
1.2 Desarrollo de las herramientas de planificación 14
1.3 La planificación y el ciclo de vida del proyecto 15
1.4 Qué es la planificación 17
1.5 Niveles de la planificación 19
1.6 El concepto de sistemas y la planificación 21
1.7 Procesos de la planificación 25
1.8 La planificación y el riesgo 26
1.9 Resumen 27
1.10 Ejercicios 27

II DEFINICIÓN DEL PROYECTO O TAREA 31
2.1 Introducción 31
2.2 Administración del Alcance del Proyecto 34
2.3 Estructura de Subdivisión del Proyecto (ESP) 38
2.4 Actividades y Acontecimientos 42
2.5 Estimaciones de costo y tiempo de las actividades 46
2.6 Programa Maestro 49
2.7 Resumen 50
2.8 Ejercicios 51

III TÉCNICAS BÁSICAS DE PLANIFICACIÓN 55
3.1 Introducción 55
3.2 Métodos de Planificación 58
3.2.1 La Carta Gantt 58
3.2.2 Diagramas Lógicos (Análisis de Mallas) 61
3.2.3 Método del Camino Crítico (CPM) 67
3.2.4 Método de Diagrama de Precedencia (PDM) 75
3.3 Relaciones Múltiples en Mallas 78

3.3.1 Actividades Continuas 79
3.3.2 Actividades Discontinuas 79
3.4 Fechas Programadas 83
3.5 Resumen 84
3.6 Ejercicios 84

IV MANEJO DE LA INCERTIDUMBRE Y EL RIESGO EN LA PLANIFICACIÓN 93
4.1 Métodos Probabilísticos 93
4.2 Método PERT 94
4.2.1 Ejemplo de Aplicación del Método PERT 100
4.3 GERT (Graphical Evaluation and Review Technique) 103
4.4 Simulación 106
4.5 Resumen 108
4.6 Ejercicios 109

V SISTEMAS DE PLANIFICACIÓN PARA PROYECTOS REPETITIVOS . 113
5.1 Programación Rítmica 113
5.1.1 Ejemplo de Aplicación de la Programación Rítmica 118
5.2 Líneas de Balance y Gráfico de Velocidad 120
5.2.1 Aplicación del Método de Líneas de Balance 122
5.2.2 Aplicación del Método del Gráfico de Velocidades 125
5.3 Resumen 126
5.4 Ejercicios 127

VI ANÁLISIS DE RECURSOS 133
6.1 Introducción 133
6.2 Nivelación y Asignación de Recursos 139
6.3 Resumen 148
6.4 Ejercicios 148

VII PLANIFICACIÓN DE RECURSOS FINANCIEROS 151
7.1 Introducción 151
7.2 Flujo de Caja de un Proyecto 152
7.2.1 Ejemplo de Aplicación de Flujos Financieros 157
7.3 Resumen 162
7.4 Ejercicios 162

VIII USO DE LAS TÉCNICAS DE PLANIFICACIÓN 169
8.1 Calendarios de Trabajo 169
8.2 Uso de Submallas 170
8.2.1 Formas de Interfase 171
8.3 Mantención y Actualización de Programas 174
8.4 Aceleración del Proyecto y Optimización 175
8.4.1 Ejemplo de Aplicación 179
8.5 Resumen 182
8.6 Ejercicios 183

IX SEGUIMIENTO Y CONTROL DE PROYECTOS 189
9.1 Introducción 189
9.2 Control 190
9.3 Medición del Avance Físico 192
9.3.1 Indices de Avance 194
9.4 Control de Costos 195
9.4.1 Ejemplo de Aplicaciones 199
9.5 Proyectos en Problemas 202
9.6 Resumen 203
9.7 Ejercicios 204

X APLICACIÓN DE LA PLANIFICACIÓN 209
10.1 Introducción 209
10.2 Presentación del caso 210
10.3 Desarrollo del plan de trabajo y definición de actividades 210
10.4 Calendarios de trabajo 212
10.5 Programa de entrega 213
10.6 Asignación de recursos 218
10.7 Programa general de entrega 222
10.8 Nivelación de recursos 222
10.9 Avances del programa y control 225
10.10 Reprogramación y utilización de software de programación 227

Anexos 229
Anexo 1. Programa general de entrega de casas 229
Anexo 2. Hoja de recursos 233
Anexo 3. Programa general con recursos 237
Anexo 4. Programa general con nivelación de recursos 239
Anexo 5. Programa general con cambio de calendario de trabajo 243
Anexo 6. Programa general con nivelación de recursos (2ª nivelación) 247
Anexo 7. Programa general con avances incorporados 251
Anexo 8. Programa general. Carta Gantt de seguimiento 255

ÍNDICE TEMÁTICO 259

BIBLIOGRAFÍA 263

I.
FUNDAMENTOS DE LA PLANIFICACIÓN DE PROYECTOS

1.1 Introducción

Hoy en día la mayoría de las empresas y organizaciones se ven enfrentadas a continuos cambios y desafíos producto del aumento de la competencia, el avance tecnológico y la globalización de mercados. Para mantener su competitividad, estas organizaciones deben estar permanentemente adaptándose y desarrollándose, incorporando nuevos conocimientos, tecnologías y formas de llevar a cabo sus actividades. Lo anterior significa que las empresas y organizaciones deben saber como implantar cambios, a través de actividades específicas que tienen objetivos claramente definidos y que son de carácter único. En estas actividades generalmente deben participar varias funciones o departamentos de la organización, así como organizaciones y proveedores externos en muchos casos. Estas actividades de cambio y desarrollo se denominan proyectos y tienen una importancia fundamental para el éxito de una organización o empresa. Algunos ejemplos de proyectos son los siguientes:

- Desarrollo de nuevos productos o servicios.
- Cambios en una organización: estructura, cultura.
- Diseño de una obra.
- Adquisición de un equipamiento mayor para una obra.
- Construcción de una obra.
- Desarrollo e implantación de un sistema de control de gestión.
- Una campaña política.
- Comenzar una nueva empresa.
- Desarrollo de un nuevo programa de vivienda social.

De esta forma, es posible identificar varias fuerzas que impulsan el uso del enfoque de proyectos. Primero, la velocidad de cambio actual requiere de las organizaciones un alto nivel de adaptabilidad y el desarrollo de una adecuada capacidad de respuesta.

En segundo lugar, la complejidad de las actividades que realizan las organizaciones ha hecho necesario desarrollar una competencia adecuada para aplicar enfoques multidisciplinarios. Finalmente, la presencia de riesgos requiere que las organizaciones sean capaces de manejar la incertidumbre existente en la gran mayoría de las actividades que realizan, de una manera sistemática y efectiva.

En el mundo de hoy, la ejecución de proyectos requiere la administración de un conjunto de recursos, generalmente escasos: dinero, personal, materiales, maquinaria y equipos, información, espacio y otros. Por lo tanto, es de fundamental importancia que toda organización administre en forma adecuada y exitosa sus proyectos de modo que éstos aporten el valor que la organización espera de ellos. Ello hace que las empresas y organizaciones de todo tipo necesiten contar con personal que tenga la competencia necesaria para desarrollar en forma efectiva el proceso de Administración de Proyectos.

En este libro, el énfasis está en los proyectos de la industria de la construcción, la que tradicionalmente lleva a cabo proyectos que resultan en la construcción de una obra o instalación que se pone al servicio de una empresa, organización o la sociedad. Así, los proyectos de construcción corresponden a la materialización de viviendas, edificios, canales y puertos, túneles, carreteras, plantas industriales, obras ornamentales, plantas de tratamiento de aguas, etc. Es decir, los proyectos de construcción son de alto costo y tienen un alto impacto en el desarrollo de las organizaciones y la sociedad y, por lo tanto, deben ser realizados de la forma más eficiente y efectiva posible de modo de aprovechar al máximo los recursos disponibles para ello.

Existen diferentes definiciones del concepto de proyecto. Turner (1993) define un proyecto como un esfuerzo para el cual se organizan recursos humanos, materiales y financieros de una forma única, para llevar a cabo un trabajo dentro de un alcance de trabajo dado, con especificaciones determinadas y dentro de restricciones de tiempo y costo, de modo de lograr cambios beneficiosos para la organización a través del logro de objetivos cualitativos y cuantitativos. A su vez, el Instituto de Administración de Proyectos de Estados Unidos (PMI, 2004) define un proyecto como un esfuerzo temporal que se realiza para crear un producto o servicio único. Temporal significa que cada proyecto tiene un punto definido de término y único significa que el producto o servicio difiere de manera distintiva de todos los productos o servicios similares.

Los proyectos se diferencian de las actividades rutinarias que realizan las organizaciones en su accionar permanente. Por ello, los proyectos tienen ciertas características que deben ser reconocidas para lograr una administración apropiada de los mismos. Algunas de estas características son:

- Los proyectos están asociados a esfuerzos de cambio.

- Proyecto no es sinónimo del "producto" del proyecto, sino que corresponde al "proceso" para obtener dicho resultado.
- Los proyectos están compuestos de actividades, las que se deben realizar en una cierta secuencia.
- Involucran múltiples recursos.
- Productos únicos, no repetitivos, temporales, con un inicio y término definidos.
- Involucran incertidumbre y riesgo.
- Ciclo de vida definido, donde el plazo es una meta fundamental.
- Interdependencia con las otras actividades de la empresa y con el entorno.

La administración de proyectos es la función fundamental para llevar a cabo la ejecución de un proyecto. Es el proceso por el cual se obtienen, manejan y aplican recursos variados, necesarios para ejecutar el proyecto y cuyo desempeño se mide principalmente con base en los siguientes parámetros: costo, plazo, calidad y satisfacción del cliente y de los participantes en el proyecto.

La administración del proyecto incluye las funciones tradicionales de la administración: planificación, organización, dirección y control. La planificación es una de estas funciones y se utiliza como una herramienta de gran utilidad dentro de cada proyecto, con el fin de lograr alcanzar los objetivos de éstos de la mejor manera posible. La planificación es posiblemente una de las funciones más importantes para el éxito de la administración de proyectos y el director o administrador del proyecto se apoya en ella para anticipar e influenciar futuros eventos que ocurrirán en el desarrollo del proyecto y para definir un camino de acción para la ejecución del proyecto. Por otro lado, un administrador o director de proyectos que no planifique, no podrá de manera alguna ejercer un buen control, ya que carecerá de un criterio por el cual juzgar el progreso actual del proyecto o los gastos en que se ha incurrido. En general, se requiere planificar para los siguientes propósitos:

- Establecimiento de un plan de materialización del proyecto.
- Comunicación a todos los involucrados en el proyecto, del énfasis asignado a los diferentes objetivos o metas del proyecto.
- Logro de la utilización más eficiente de los recursos asignados al proyecto.
- Manejo y reducción adecuada de las consecuencias de los riesgos presentes en un proyecto.
- Toma de decisiones adecuadas y oportunas.
- Asignación apropiada de responsabilidades y tareas.

Mucha gente opina que la planificación es una función que no aporta mucho a la administración. Entre los profesionales de la construcción generalmente se cuestiona por lo rápido que una planificación queda obsoleta, porque requiere mucho tiempo para su realización, o porque no provee ningún beneficio concreto. Sin embargo, todos estos argumentos son tan sólo justificaciones por el no uso de la planificación y nacen a partir de una apreciación subjetiva de lo que es esta función. Una administración que no planifica, es una administración que va a la deriva, que no sabe lo que está pasando en su proyecto y, peor aún, es una administración que no cuenta con la información necesaria para tomar decisiones correctas y adecuadas para el proyecto.

La planificación es una función dinámica, que debe actualizarse permanentemente debido a que corresponde a tomar decisiones anticipadas respecto de un futuro que no se conoce en forma perfecta. Sin planificación no es posible realizar un seguimiento y control adecuados del proyecto debido a que, de esa forma, no se contaría con una base de referencia para comparar el desempeño actual con aquel deseado o planificado. En la planificación no son los planes que se generan lo más importante sino que su mayor valor radica en el proceso de pensar el proyecto, sus objetivos, alcances, recursos, etc., es decir, el proceso de planificación.

1.2 Desarrollo de las herramientas de planificación

Los esfuerzos de planificación para la ejecución de proyectos se remontan a muchos cientos de años. Sin embargo, sólo en el siglo pasado se desarrollaron las herramientas formales para la solución de problemas de planificación tal como son usadas en la actualidad.

En 1917 Henry Gantt desarrolló la primera herramienta de planificación. De gran utilización hasta el día de hoy, se conoce como la Carta Gantt o también carta de barras. Esta carta es un gráfico en que las actividades se dibujan como barras en una escala de tiempo. Posteriormente en 1956, Morgan Walker de la compañía Dupont, junto con James Kelly de la Remington Rand, desarrollaron un método racional para describir un proyecto en un computador, que se conoce actualmente como Método del Camino Crítico (CPM, del inglés Critical Path Method). Finalmente, en 1957, durante el desarrollo del programa Polaris en Estados Unidos, se diseñó una técnica particular de planificación para integrar y coordinar el esfuerzo de 3.800 contratistas a cargo de la ejecución de 60.000 operaciones en un ambiente de alta incertidumbre. Este método recibió el nombre de Técnica de Evaluación y Revisión del Programa, (PERT, del inglés Program Evaluation and Review Technique).

En las últimas décadas se han desarrollado varios otros métodos de planificación, todos ellos derivados a partir de los anteriores y siempre tratando de lograr una mayor flexibilidad para la representación del plan de ejecución de un proyecto. Los métodos más importantes agregados a los tradicionales, son los siguientes:

- **Método de Diagrama de Precedencia** (PDM, Precedence Diagramming Method): método que introduce modificaciones al CPM, incluyendo nuevos tipos de relaciones entre las actividades de un proyecto.
- **Decisión CPM** (DCPM): método que incorpora el esquema de los árboles de decisión al CPM tradicional.
- **Técnica de Evaluación y Revisión Gráfica** (GERT, Graphical Evaluation and Review Technique): método probabilístico que permite modelar planes que incluyen actividades cuya ejecución es incierta, así como alternativas de ciclos de retorno.
- **Método de Líneas de Balance** (LOB, Line of Balance Method) y **Método de Gráfico de Velocidad**: métodos lineales para proyectos secuenciales con actividades repetitivas.
- **Programación Rítmica**: método específico para proyectos que son de carácter repetitivo.

1.3 La planificación y el ciclo de vida del proyecto

La planificación se debe emplear en todo el desarrollo del proyecto de construcción, desde el comienzo hasta el fin, desde la conceptualización y el estudio de factibilidad del proyecto hasta su entrega al cliente una vez finalizado. Esto incluye la planificación del diseño, de las adquisiciones y contratación, así como de la ejecución de los trabajos de construcción en terreno. Debido a lo anterior, uno de los aspectos más complicados de los primeros pasos de la planificación es la necesidad de coordinar el esfuerzo de las distintas partes (personas y organizaciones) involucradas en un proyecto desde la concepción misma de éste y de los procesos y actividades necesarios para realizarlo. Es decir, es necesario identificar a los individuos y organizaciones que están involucrados activamente en un proyecto o cuyos intereses pueden ser afectados positiva o negativamente como resultado de la ejecución del proyecto y el logro de sus objetivos. Al identificarlos, es importante determinar sus necesidades y expectativas para manejarlas e influirlas para asegurar un término exitoso del proyecto. Un ejemplo de estos posibles involucrados se presenta en la figura 1.1.

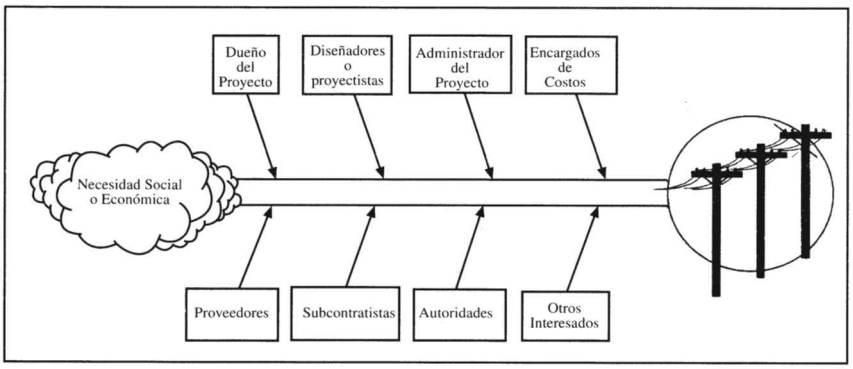


Fig. 1.1 Participantes en un proyecto de construcción.

Todos los proyectos tienen un ciclo de vida, desde su inicio cuando se plantea una necesidad que debe satisfacerse, hasta que el proyecto ha logrado sus objetivos y termina. Las principales etapas del ciclo de vida de un proyecto son las siguientes:

- Conceptualización del proyecto.
- Definición del proyecto.
- Desarrollo del proyecto.
- Ejecución del proyecto.
- Término o cierre del proyecto.

La figura 1.2 muestra un ejemplo del ciclo de vida general de un proyecto de construcción con sus principales etapas y actividades.

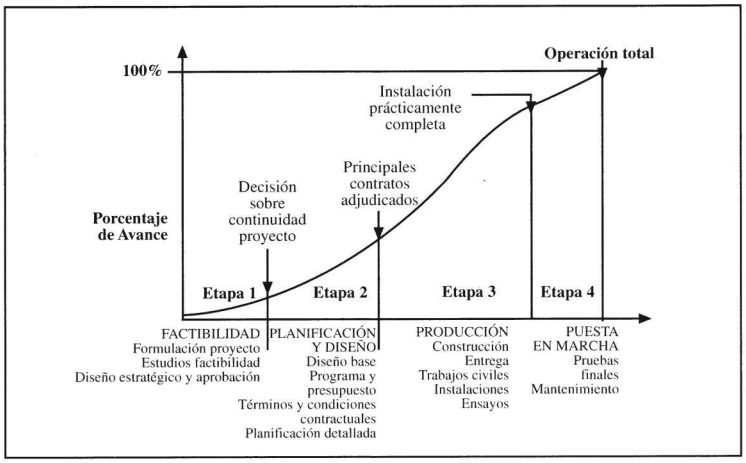


Figura 1.2 Ejemplo del ciclo de vida de un proyecto de construcción.

Uno de los aspectos importantes que se han observado en investigaciones con relación al ciclo de vida del proyecto, es el hecho de que la capacidad de los distintos participantes de influir en los resultados del proyecto va diminuyendo a medida que éste se va desarrollando, tal como se indica en la figura 1.3. La razón de ello radica en que a medida que se desarrolla un proyecto, el ámbito de impacto de las decisiones va siendo cada vez menor toda vez que va aumentando el número de actividades que ya terminaron. A su vez también se ha comprobado que el costo de realizar cambios va creciendo a medida que se avanza en el desarrollo del proyecto. Así, mientras más decisiones son tomadas y más actividades se ejecutan, el proyecto va tomando una forma más definida y la oportunidad de realizar cambios se reduce y encarece. Es claro entonces que las decisiones más tempranas que se toman sobre el proyecto tienen efectos mucho más importantes en sus etapas posteriores que las decisiones tardías. Esto enfatiza entonces la importancia de tener una buena planificación del proyecto, que permita tomar buenas decisiones en las etapas iniciales.

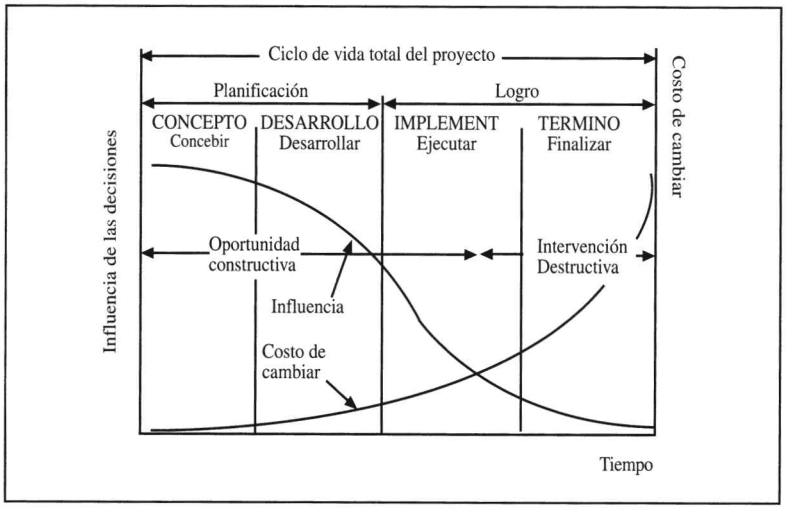


Figura 1.3 Influencia de las decisiones y costo de cambiar a lo largo del desarrollo de un proyecto.

1.4 Qué es la Planificación

Para poder desarrollar íntegramente la planificación de un proyecto, es necesario entender bien qué es y qué es lo que pretende con este proceso. Según la American Management Association la planificación "consiste en determinar lo que se debe hacer, cómo se debe hacer, qué acción debe tomarse, quién es el responsable de ella y por qué". A su vez, para Russell Ackoff, "el futuro no hay que preverlo sino que crearlo. El objetivo de la planificación debería ser diseñar un futuro deseable e inventar el camino para conseguirlo". Finalmente, para David Eisenhower "los planes no son nada, es la planificación lo que cuenta" (Amat, 1993). Teniendo claro el significado de estas frases y lo que estas pretenden podemos analizar los objetivos de la planificación como sigue:

- **Análisis y definición**: es concebir cómo debe ser realizado el trabajo, en qué orden y con qué recursos; dividiendo el proyecto y tomando partes de él, en un conjunto de actividades manejables. Cada actividad debe ser fácilmente identificada como una porción de trabajo, idealmente relacionada a la estructura total del proyecto y de este modo quedar bajo el control de una persona en particular.
- **Anticipación**: es prever potenciales dificultades, planear como superarlas, y anticipar riesgos para que sus efectos puedan ser minimizados. Este es el objetivo más importante de la planificación en la construcción, porque la ingeniería civil es un negocio con un alto riesgo, y la planificación de muchas actividades está cargada de incertidumbre.

- **Programación de recursos**: se usa para permitir un uso óptimo de los recursos disponibles para cada proyecto y, tomando juntos todos los proyectos que se pudieran tener, para la administración de éstos como un todo en una organización.
- **Coordinación y control**: la idea es proporcionar una base de datos para coordinar el trabajo de las partes involucradas en el proyecto, y proporcionar una base de referencia para predecir y controlar el tiempo, calidad y los costos del proyecto.
- **Recopilación de datos**: para formar una base de datos de planificación para su uso en la preparación de futuros planes de trabajo en nuevos proyectos.

La planificación se lleva a cabo dentro de un ciclo que se va repitiendo durante todo el desarrollo del proyecto tal como se muestra en la figura 1.4. Este ciclo incluye cuatro acciones relevantes: la planificación propiamente tal que corresponde a la determinación del curso de acción y las actividades necesarias para llevar a cabo el proyecto.

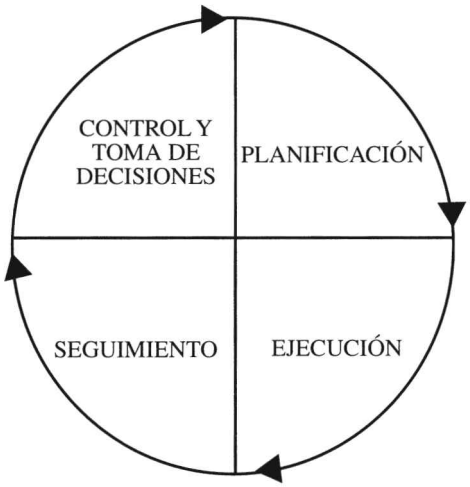


Figura 1.4 Ciclo de la planificación.

A continuación, se comienza la ejecución del proyecto guiada por la planificación. Indudablemente durante la ejecución, el proyecto debe enfrentar la realidad, la cual, debido a la ocurrencia de imprevistos, puede producir variaciones respecto de lo planificado. Por esta razón, es necesario llevar a cabo un seguimiento de la ejecución del proyecto de modo de contar en forma oportuna con información sobre lo que realmente está pasando en el proyecto. Con dicha información, proporcionada por el seguimiento, se realiza el control, que corresponde al análisis de la situación y la toma de decisiones necesarias para actuar sobre el proyecto de modo de asegurar permanentemente que se logren los objetivos del mismo. Entre las acciones resultantes en esta etapa pueden incluirse las siguientes:

1. No hacer nada, dado que el proyecto se está ejecutando de acuerdo a lo esperado,
2. Actuar sobre el proyecto para corregir desviaciones respecto de lo planificado, o
3. Replanificar el proyecto dado que las condiciones reales han cambiado significativamente respecto a las condiciones supuestas para la planificación.

Una vez cerrado el ciclo de la planificación, éste comienza nuevamente realizándose periódicamente durante la ejecución del proyecto, hasta su término. De este modo la planificación y las acciones asociadas a este proceso, proveen una herramienta poderosa para la administración efectiva y exitosa del proyecto.

1.5 Niveles de la planificación

Un aspecto importante de la planificación, es determinar a qué nivel debe hacerse. La planificación debe comenzar desde arriba hacia abajo, existiendo tres niveles comúnmente definidos: planificación estratégica, planificación táctica y planificación operacional como se muestra en la figura 1.5.

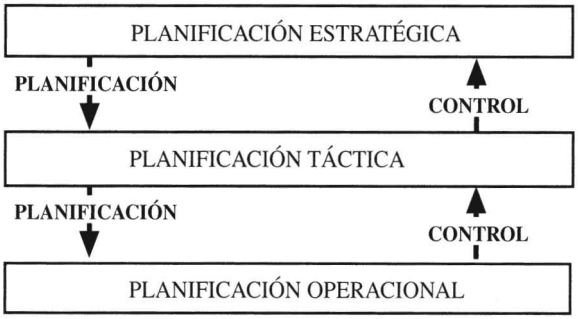


Figura 1.5 Niveles de Planificación.

La planificación estratégica corresponde a la planificación que considera los aspectos globales del proyecto y del enfoque con que se va a realizar. Generalmente se utiliza una división gruesa de las actividades del proyecto y su énfasis está en los objetivos generales del proyecto y la forma general de lograrlos. La planificación táctica o de mediano plazo se preocupa de un nivel más detallado del proyecto y su definición. Corresponde generalmente a la planificación de las actividades de trabajo específicas requeridas para llevar a cabo el proyecto. Finalmente, la planificación operacional o de corto plazo se encarga del detalle de cómo ejecutar las tareas necesarias para materializar las actividades definidas en los niveles anteriores. La planificación consiste entonces en un proceso de descomposición del proyecto en niveles cada vez más detallados. Lo importante es que debe existir una adecuada coherencia entre los distintos niveles.

Por su parte, el control sigue una dirección opuesta a la planificación. Es decir, el control genera información al nivel operacional, la que debe agregarse para generar información de control en los niveles superiores. También en este caso debe existir consistencia entre los distintos niveles.

Una vez que se han planteado claramente los objetivos del proyecto y se ha definido el esquema estratégico para su realización a través de un plan maestro, es necesario operacionalizar la planificación al nivel táctico, a través de una serie de pasos o actividades. Estas actividades permiten estructurar adecuadamente el proceso de planificación, de modo de producir todos los elementos de información que serán necesarios para la administración del proyecto durante su ejecución. Estas actividades se muestran en la figura 1.6.

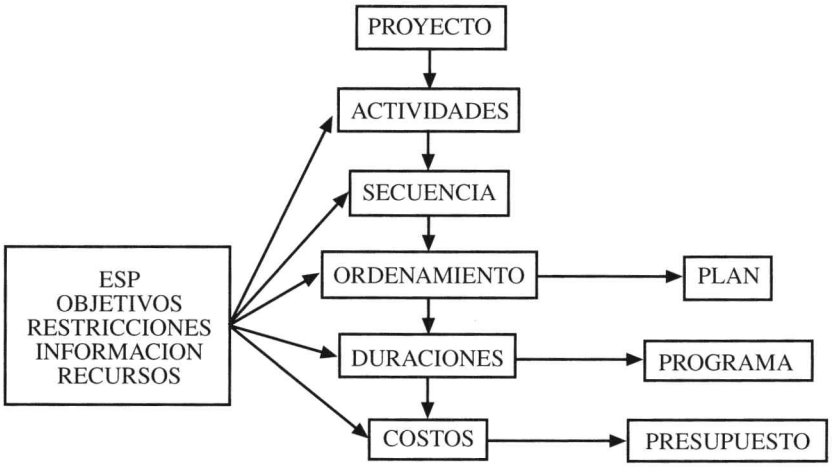


Figura 1.6 Actividades de la Planificación.

A partir del proyecto y de sus objetivos y meta, es necesario identificar todas las actividades necesarias para lograr los resultados planteados para el proyecto. Estas actividades se definen en función de las distintas categorías de trabajo que el proyecto requerirá para su ejecución. Para ello es necesario considerar toda la información relevante del proyecto y la aplicación de una herramienta conocida como la Estructura de Subdivisión del Proyecto. Una vez que se han identificado las actividades, es necesario definir la secuencia en que se realizarán y representar dicha secuencia en un ordenamiento que se conoce como plan. Posteriormente, determinando las duraciones de las actividades, de acuerdo al método de ejecución y a los recursos disponibles, es posible construir un programa del proyecto, que corresponde a la ubicación del plan en una escala de tiempo real. Finalmente, conociendo los recursos asignados y el momento de utilización de ellos es posible determinar un presupuesto del proyecto y su evolución en el tiempo.

1.6 El concepto de sistemas y la planificación

En los años 1940-1950 se desarrolló una nueva perspectiva para la solución de problemas complejos de ingeniería. La existencia de un problema fue considerada como un vacío (necesidad) en el entorno y la solución para remover este vacío fue enfocada como un sistema. Por ejemplo, ante la necesidad del transporte surge el automóvil; ante la necesidad de coordinación surge la planificación en la ejecución de los proyectos. A continuación se presenta un análisis que muestra como la planificación se inserta dentro de la perspectiva de sistemas, como parte de un sistema más global que es el sistema de Administración de Proyectos. La importancia de este análisis radica en la comprensión de que los proyectos son sistemas abiertos, con una gran cantidad de interfases que deben administrarse en forma integrada, de modo de asegurar que se logren los objetivos del proyecto. Es decir, la administración de proyectos es en la práctica la administración de un tipo de sistemas y requiere por tanto una visión global para que sea realizada en forma efectiva. Como se verá posteriormente, muchas de las herramientas y métodos de la planificación han sido desarrollados dentro de este marco de referencia.

Un sistema es un conjunto de objetos, principios, reglas, etc., unidos por una interacción ordenada para formar un todo organizado, sujeto a restricciones que limitan las respuestas de los componentes individuales y del sistema. Un esquema simple se presenta en la figura 1.7.

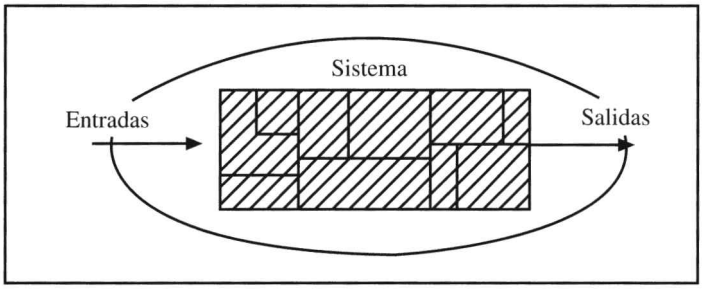


Figura 1.7 Concepto de sistema.

Para satisfacer una necesidad utilizando el esquema de sistemas, se deben seguir los siguientes pasos:

1. Análisis de la necesidad o problema a resolver.
2. Definición y especificación del problema.
3. Desarrollo del criterio de diseño que permita obtener una solución.
4. Generación de las alternativas de solución.
5. Verificación de la factibilidad física, económica y financiera de las soluciones.

6. Optimización de alternativas factibles.
7. Evaluación de las alternativas optimizadas y selección de la mejor solución.
8. Implantación de la solución.
9. Retroalimentación y control para mejorar en forma continua.

Los pasos o etapas indicadas anteriormente corresponden de manera inequívoca a las etapas propias de la realización de un proyecto como se verá más adelante. Es decir, tal como se mencionó anteriormente, los proyectos nacen como resultado de la existencia de una necesidad o problema que una organización debe resolver.

Un sistema también puede mirarse como una estructura piramidal (fig 1.8), basado en el concepto de que los componentes, relacionados en forma lógica, forman subsistemas, y la unión de estos subsistemas en diferentes combinaciones, forman sistemas.

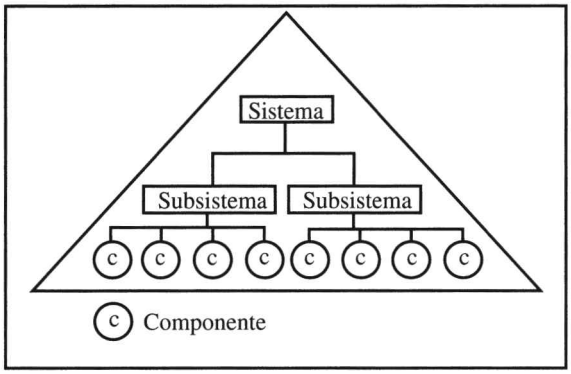


Figura 1.8 Tipo de estructura de un sistema.

Existen entonces tres procesos básicos en la creación de un sistema:

1- Los componentes básicos son sintetizados para formar parte de un sistema, que generalmente tiene una estructura piramidal, con subsistemas y componentes.

2- Se analiza el sistema o solución para asegurar su factibilidad y optimización.

3- Selección, implantación y modificación de este sistema.

El proceso de planificación se ha desarrollado en forma análoga a la metodología de diseño de sistemas. La planificación constituye un subsistema del sistema de Administración de Proyectos, así como lo son las otras funciones de la administración como la organización, la dirección y el control tal como se muestra en la figura 1.9. Es decir, la administración de proyectos es un sistema que usa las funciones indica-

das para transformar los recursos de un proyecto tales como recursos humanos, materiales, equipos y otros en un resultado que se mide generalmente en función de su desempeño en costo, plazo, calidad y satisfacción de los interesados.

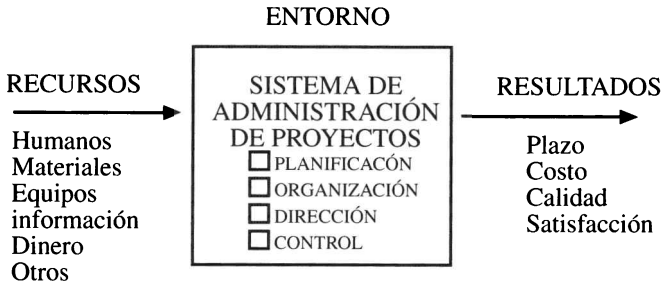


Figura 1.9 Planificación dentro de la Administración de Proyectos.

En el desarrollo de la planificación de un proyecto también se sigue un esquema similar al proceso de desarrollo de un sistema, siendo este último procedimiento directamente aplicable a esta función. Por ejemplo, el proceso de planificación propuesto por Walker (1990) es el siguiente:

1. Definir metas u objetivos para el proyecto con relación a necesidades o problemas existentes.
2. Considerar las amenazas o restricciones existentes para realizar el proyecto.
3. Considerar oportunidades disponibles para la realización del proyecto.
4. Considerar diversas opciones o alternativas para realizar el proyecto.
5. Construir un modelo o plan para la ejecución de acuerdo a las alternativas disponibles.
6. Seguir el progreso de la ejecución del proyecto.
7. Revisar el modelo de acuerdo a la información de seguimiento.
8. Tomar acciones de control.

En la aplicación del enfoque de sistemas a la planificación y control de proyectos hay que reconocer tres atributos de este concepto:

1. Enfatiza la importancia de las relaciones que unen los componentes en una entidad concreta.
2. Utiliza una metodología determinada.

3. Aplica las herramientas y técnicas de diseño de sistemas apropiadas a la etapa del proyecto y a las necesidades dictadas por el tamaño y complejidad del proyecto.

Haciendo un paralelo entre el diseño de sistemas y el proceso de la planificación, podemos subdividir este último en los siguientes pasos o etapas:

1. **Análisis y definición:** este es el primer paso dentro de la planificación. Es necesario analizar detalladamente el proyecto para lograr una primera subdivisión y determinar los alcances de éste. Al final de esta etapa se deben haber determinado las características generales del proyecto y de las actividades principales que se realizarán.

2. **Planeamiento:** estando ya determinadas las actividades para llevar a cabo el proyecto, es necesario determinar una secuencia lógica para la ejecución de éstas. Primero se debe lograr un ordenamiento (determinar precedencias), luego relacionar todas las actividades (secuencia) obteniendo un plan de trabajo coherente.

3. **Programación:** en esta etapa se debe determinar las duraciones y los costos de cada actividad, obteniendo con estos datos un programa.

4. **Evaluación y optimización:** para lograr que el programa sea el más adecuado se debe hacer un análisis de recursos y otro de costos v/s duración. Optimizando los datos anteriores para lograr el más alto beneficio, se obtiene el programa definitivo.

5. **Implantación:** consiste en poner en marcha el programa de trabajo.

6. **Seguimiento:** es el primer paso que se debe seguir para lograr un control efectivo del proyecto. Consiste en recolectar información de como se va desarrollando el proyecto en cuanto a duración de las actividades y costos.

7. **Control:** se comparan los datos obtenidos con el programa maestro, y se toman las acciones para corregir las diferencias que se hayan producido

8. **Actualización:** se implementan los cambios al programa maestro de modo de poder controlar más adelante si las mejoras que se implementaron dieron resultados positivos.

En la figura 1.10 se muestran estas actividades y la secuencia de etapas del proceso.

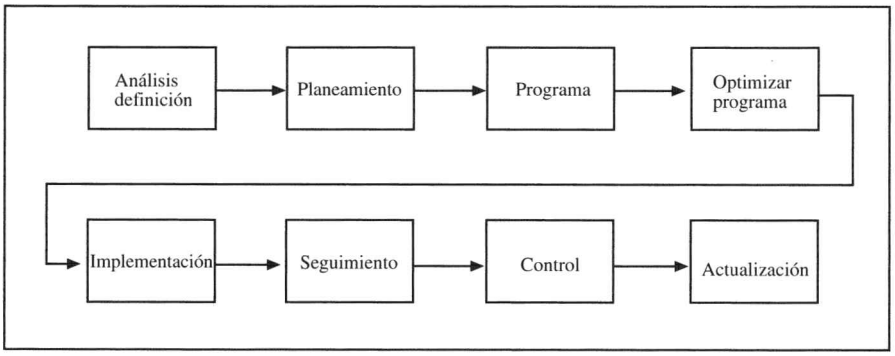


Figura 1.10 Proceso de Planificación.

1.7 Procesos de la Planificación

La planificación, siendo un proceso, cuenta con varios procesos centrales propios y procesos que son necesarios para la planificación. De acuerdo al Instituto de Administración de Proyectos de Estados Unidos (PMI, 2004) se reconocen los siguientes procesos centrales de planificación:

- Planificación del alcance del proyecto.
- Definición del alcance del proyecto.
- Definición de las actividades del proyecto.
- Planificación de recursos.
- Determinación de la secuencia de actividades.
- Estimación de la duración de actividades.
- Estimación de los costos de actividades.
- Desarrollo de programas de trabajo.
- Determinación de presupuestos.
- Desarrollo del plan del proyecto.

En cuanto a los procesos necesarios o asociados a la planificación, el Instituto de Administración de Proyectos plantea los siguientes:

- Planificación de la calidad.
- Planificación de la organización.
- Asignación de personal.
- Planificación de la comunicación e información.
- Planificación de adquisiciones.
- Planificación de las solicitudes de servicios o productos.
- Identificación de riesgos.
- Cuantificación de riesgos.
- Desarrollo de respuestas a los riesgos.

Al revisar la lista recién presentada es posible apreciar que la planificación es ampliamente aplicada para distintas funciones que forman parte del sistema de administración de proyectos. Aún cuando estos procesos asociados son también importantes y la información que generan es una entrada relevante para el proceso de planificación, en este libro el énfasis principal será puesto en la planificación para la ejecución del trabajo de un proyecto de construcción principalmente, aunque todos los conceptos son totalmente válidos para cualquier otra aplicación.

1.8 La Planificación y el Riesgo

De acuerdo a Al-Bahar y Crandall (1990), riesgo se define como la exposición abierta a la posibilidad de que ocurran eventos que afecten en forma adversa o favorable a los objetivos del proyecto, como consecuencia de la incertidumbre existente. Surgen así tres conceptos o ideas claves para el riesgo:

- Evento de riesgo: lo que puede ocurrir.
- Incertidumbre del evento: la posibilidad de que el evento ocurra.
- Ganancia o pérdida potencial: la consecuencia de la ocurrencia del evento.

En la planificación de los proyectos existe un proceso para manejar este riesgo, el cual es de vital importancia. Según Chapman y Ward (1997), los pasos a seguir son los siguientes:

- Definición: consolidación de la información relevante sobre el proyecto.
- Focalización: definición del alcance del proyecto y establecimiento de un plan estratégico para el manejo del riesgo al nivel operacional.
- Identificación: individualización de los eventos de riesgo que pueden ocurrir e identificación de las respuestas posibles.
- Estructuración: modelación de los riesgos para su análisis y evaluación.
- Definición de la propiedad: asignación de los riesgos a los diferentes participantes del proyecto para su administración.
- Estimación: identificación de las áreas de incertidumbre significativa y selección de aquellos riesgos que sean importantes o críticos.
- Evaluación: síntesis de evaluación de los resultados de la etapa de estimación.

Una vez realizado esto y teniendo claridad respecto de los riesgos críticos que pueden afectar al proyecto, éstos deben ser integrados en la administración del proyecto, tal como se muestra en la figura 1.11.

Durante la planificación, el riesgo y todas las posibles implicancias de éste sobre el proyecto deben ser analizadas y estudiadas minuciosamente. Posiblemente una buena proporción del éxito o fracaso del proyecto depende de cómo se consideró el riesgo y como éste fue integrado en el proyecto por medio de la planificación.

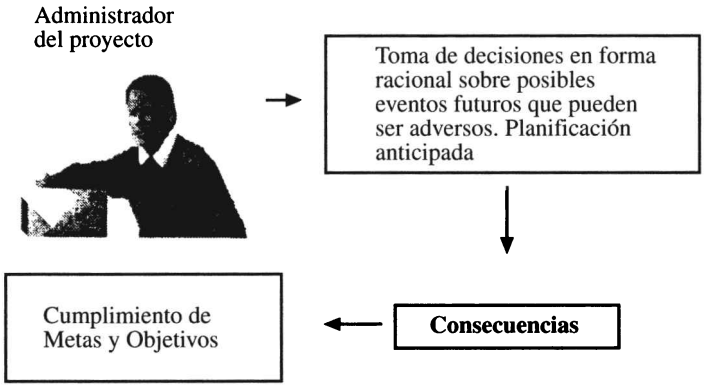


Figura 1.11 Integración del Riesgo en la Administración del Proyecto.

1.9 Resumen

En este primer capítulo introductorio se explica lo que es un proyecto, que es lo que éste abarca, y como la planificación influye en la creación y el desarrollo de ellos. Se explican los objetivos de la planificación, su ciclo de aplicación y los niveles en los cuales se debe trabajar para que su aplicación sea efectiva. Se explica el concepto de sistemas y su relación con la planificación, y finalmente se presenta el riesgo, que es un factor presente en todos los proyectos, y las maneras de manejarlo y aplicarlo. Particularmente importante es entender que el riesgo es uno de los principales elementos que la planificación debe incorporar, de modo de generar planes y programas realistas de los proyectos que se planifican.

1.10 Ejercicios

Conceptos

1. ¿En qué se basa la administración de proyectos? Explique.

2. Si usted estuviera a cargo de un proyecto, ¿cuáles serían sus objetivos como administrador de éste?

3. ¿Cuáles son las razones por las que usted planifica un proyecto?

4. Represente gráficamente los procesos que deben realizarse para la ejecución de un proyecto civil, identificando los agentes involucrados en cada uno de ellos.

5. Indique cuál es el objetivo o propósito de las siguientes funciones presentes en la administración:

   a) Planificación.

   b) Seguimiento.

   c) Control.

6. Explique cómo se relacionan los tres niveles de planificación existentes en un proyecto.

7. Indique la secuencia más racional en la realización de las etapas de una planificación, describiéndolas brevemente.

8. ¿Por qué es necesaria y conveniente la utilización de la planificación en los proyectos de construcción?

9. Indique cinco diferencias fundamentales entre la construcción de obras y la producción industrial.

10. La planificación es un proceso dinámico a lo largo de toda la duración de un proyecto. ¿Está usted de acuerdo con esta afirmación? Explique claramente sus razones.

11. Indique 5 de las principales características de los proyectos que los diferencian de otro tipo de actividades que normalmente realizan las empresas.

12. ¿De qué forma las características mencionadas por Ud. como respuesta a la pregunta anterior, justifican un esfuerzo particular de la función de planificación en la administración de proyectos?

13. La planificación persigue varios objetivos. Indique de qué forma la planificación da cumplimiento a los siguientes objetivos:

    a) Lograr la utilización más eficiente de los recursos asignados.

    b) Ayudar a una toma de decisiones adecuada y oportuna.

    c) Manejar y reducir adecuadamente las consecuencias de los riesgos presentes en un proyecto.

14. Explique el significado de los siguientes componentes de la planificación (asuma que el lector es un lego en esta materia):

    a) Un proceso jerárquico que evoluciona, desde la transformación de lineamientos generales en objetivos, a la identificación de medios y restricciones que determinan un curso de acción.

    b) Un proceso de toma de decisiones anticipado.

15. Indique y explique tres aspectos o factores que justifican la necesidad de usar la planificación.

16. "La industria de la construcción se basa en proyectos". Explique cinco consecuencias de esta afirmación, relevantes para una mejor comprensión de la función de planificación y control de proyectos.

17. De acuerdo a la teoría de sistemas, para satisfacer una necesidad se debe seguir el siguiente procedimiento (resumido):

    a) Análisis de la necesidad.
    b) Definición del problema.
    c) Desarrollo del criterio de diseño.
    d) Generación de alternativas.
    e) Verificación de factibilidad.
    f) Optimización de alternativas factibles.
    g) Evaluación y selección.
    h) Implantación.
    i) Retroalimentación y control.

Haga un paralelo y desarrolle un sistema de planificación siguiendo este esquema e indicando las etapas correspondientes.

II.
DEFINICIÓN DEL PROYECTO O TAREA

2.1 Introducción

Para desarrollar un plan de ejecución de un proyecto y lograr que éste sea eficaz, es necesario conocer y comprender el proyecto y su entorno de la mejor manera posible. El proyecto está representado por el producto específico que se desea obtener y por los objetivos asociados al proceso de obtención de dicho producto, los que se expresan en términos de costo, tiempo o plazo y calidad. El entorno representa todos aquellos factores externos al proyecto propiamente tal, tales como mercado de recursos, ambiente político, regulaciones, factores económicos y otros, que pueden afectar el desarrollo del proceso de ejecución del proyecto. Es decir, para planificar un proyecto adecuadamente es necesario contar con toda la información pertinente a la situación en que se desarrollará.

El propósito de un plan de trabajo es ayudar al administrador del proyecto a dirigir la ejecución del proceso de materialización de éste y a usar adecuadamente los recursos disponibles por medio del desarrollo de estrategias apropiadas para el logro de los objetivos del proyecto. El plan de trabajo permite además, entre otras cosas: lograr que los recursos estén disponibles cuando se necesitan; la realización de la ejecución de las actividades de trabajo en una secuencia correcta; el ayudar al cumplimiento de fechas o eventos importantes del proyecto; producción y entrega a tiempo de los componentes del proyecto; cumplimiento de los objetivos de costo del proyecto; generación de una base de referencia confiable para el seguimiento y control del proyecto. Por esto, es conveniente que el planificador de un proyecto participe desde el inicio del proceso de desarrollo del proyecto, coordinando los esfuerzos de todas las partes involucradas.

Pese a la importancia que reviste el plan de trabajo de un proyecto, muchos administradores de proyectos son reacios a preparar planes adecuados para sus proyectos. Entre las razones que se citan para ello, están las siguientes (Cori, 1989):

- Falta de tiempo; la planificación es sólo una más de las actividades de las que se tiene que preocupar el administrador del proyecto.
- La solución de problemas inmediatos provee retroalimentación inmediata, lo cual es más gratificador que la planificación, la que tiene que ver con eventos futuros y provee pocos resultados inmediatos.
- El desarrollo de un plan adecuado y realista es difícil y consume mucho tiempo.
- Muchos administradores piensan que pueden manejar las situaciones a medida que se producen, por lo que prefieren actuar en el momento.
- El desarrollo del plan de trabajo requiere tiempo y dinero. Lo importante es avanzar y no gastar en actividades superfluas.
- Los planes escritos proveen medios para la medición de resultados y comprometen a los administradores, lo cual no siempre es aceptado.

Sin embargo, a pesar de todas las desventajas que se le puedan imputar, un buen plan de trabajo puede mejorar sustancialmente el desarrollo de un proyecto, haciendo que la inversión de tiempo y recursos destinados a la planificación sea poco significativa frente a los beneficios que se obtienen. Entre estos beneficios podemos encontrar que un buen plan de trabajo obliga a la definición de los objetivos primarios y secundarios del proyecto; provee una guía para acciones futuras; incluye estándares de desempeño para medir el progreso del proyecto; identifica las etapas del proyecto y los eventos críticos en el desarrollo del mismo; ayuda a identificar desarrollos repentinos, no anticipados; permite identificar los principales riesgos en la ejecución del proyecto.

Es necesario señalar que, aun cuando una organización se haya impuesto la meta de desarrollar un plan, existen ciertas razones que pueden hacer que éste fracase. Entre las más comunes podemos nombrar las siguientes:

- Falta de compromiso de alguno de los miembros del equipo del proyecto para cumplir con sus responsabilidades.
- Uso de planes típicos, sin considerar que cada proyecto es distinto.
- Prioridades inapropiadas o inexistentes.
- Falta de comunicación adecuada acerca del plan a todos los que conforman el equipo del proyecto.
- Mala definición de los objetivos del proyecto.
- Falla en la división del proyecto en etapas y la presencia de puntos no modificables, evitando un estado de permanente cambio.
- Programa poco realista, generalmente demasiado optimista.

- Programa financiero muy pobre, inconsistente con el programa del proyecto.
- Plan poco realista en la asignación de personal para el proyecto.
- Falta de contingencias, tanto de tiempo como de costo para enfrentar imprevistos.

Como se puede ver en la figura 2.1, para lograr desarrollar un adecuado plan de trabajo es necesario plantearse y contestar las preguntas: Qué, Cómo, Por qué, Quién, Dónde, Cuándo, Cuánto. Estas preguntas sirven para definir de manera indirecta las etapas necesarias para la preparación de un plan de trabajo, siendo éstas:

- Definición de los objetivos del proyecto: se refiere a qué se quiere lograr con la realización del proyecto. En esta etapa se debe tener una visión global del proyecto y ver cómo éste se inserta en los planes departamentales, divisionales o corporativos.
- División del proyecto en actividades. El resultado de esta subdivisión es una estructura de subdivisión del proyecto (ESP), donde se divide físicamente el proyecto en función de los principales componentes o sistemas.
- Determinación de la secuencia de las actividades del proyecto. El resultado de esta etapa se entrega en la forma de una malla de precedencia.
- Asignación de responsabilidades en la ejecución de las actividades del proyecto. De esta etapa se obtiene la ESO (Estructura de Subdivisión de la Organización).
- Estimación de la duración y el costo de las actividades para desarrollar un programa del proyecto.
- Preparación del presupuesto del proyecto.
- Reconciliación del plan del proyecto con las restricciones de recursos, tiempo y recursos financieros. Esta etapa implica un análisis de recursos detallado de todo el proyecto.

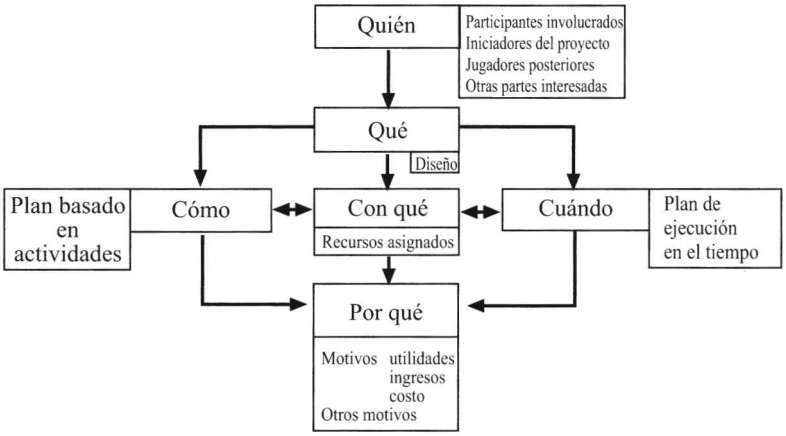


Figura 2.1 Proceso de definición del proyecto.

2.2 Administración del Alcance del Proyecto

La administración del alcance de un proyecto tiene como objetivo asegurar que suficiente, pero sólo suficiente cantidad de trabajo se lleve a cabo para entregar el resultado especificado para el proyecto. De este modo se cuida de no hacer trabajo innecesario. Las etapas de esta administración se pueden resumir en cuatro:

- Desarrollo del concepto a través de los objetivos del proyecto.
- Definición del alcance a través de la estructura de subdivisión del proyecto.
- Autorización y ejecución del trabajo y realización de seguimiento y control del progreso del proyecto.
- Puesta en marcha de la instalación o producto del proyecto.

El propósito o misión de un proyecto describe lo que se quiere lograr con la realización del proyecto, como por ejemplo: mejorar la satisfacción del cliente de modo que...; mejorar el manejo de información al interior del Departamento para...; mejorar la productividad de la empresa de manera de..., etc. Es importante, al momento de plantear la misión del proyecto, tener una visión global del proyecto y lograr ver cómo éste se inserta en los planes departamentales, divisionales o corporativos de la empresa u organización.

Para planificar el alcance de un proyecto, se deben tener en cuenta las siguientes actividades:

- Análisis del "producto" del proyecto. Esto se logra a través de la ingeniería de sistemas, la llamada ingeniería del valor, el análisis funcional del proyecto y/o despliegue de la función de calidad.
- Análisis de la relación costo-beneficio de los distintos elementos del proyecto y del proyecto como un todo.
- Identificación de las alternativas existentes.
- Exposición de la información obtenida a un juicio objetivo y experto.

La siguiente figura nos muestra el caso de una empresa que ha decidido llevar a cabo un proyecto de desarrollo de un nuevo y moderno sistema computacional de control de costos. En este ejemplo podemos apreciar en forma clara el alcance del proyecto, el propósito del proyecto y un análisis del producto del proyecto.

Actividades Principales	Justificación
1. Revisión de la literatura disponible 2. Diseño del sistema computacional - Capacidades y características - Plataforma de desarrollo y sistema de red - Clientes y usuarios del sistema - Flujos de información 3. Desarrollo o adquisición de sofware - Revisión de disponibilidad de mercado - Modificación o desarrollo del sistema específico 4. Adquisición de hardware y sistema de red 5. Prueba del software 6. Modificación del software en caso necesario 7. Prueba de plataforma y red 8. Documentación del sistema 9. Prueba final del sistema 10. Implementación en la empresa	Se requiere mejorar sinnificativamente la eficiencia y efectividad del sistema informático de control de costos. El estudio costo-beneficio indicó una alta rentabilidad del proyecto **Objetivos** Costo estimado según presupuesto adjunto sin exceder los US$ 30.000. Plazo estimado: 6 meses a partir de la fecha de inicio del proyecto. Calidad: se procederá de modo de asegurar la confiabilidad del sistema en todos sus aspectos, con un mantenimiento mínimo. El hardware deberá ser de una marca de prestigio, con servicio técnico confiable y con una garantía mínima de 3 años para todos los componentes. Información adicional: revisar la documentación de estudio del proyecto, de acuerdo a listado adjunto.

Figura 2.2 Desarrollo de un sistema computacional de control de costos.

En la figura 2.3 se muestra un esquema gráfico de las etapas de la planificación. Es muy importante reconocer la gran relación que existe entre la planificación y el diseño. A partir de una cierta necesidad ya sea personal, empresarial o colectiva, se realiza una primera planificación que nos permite llevar a cabo un diseño conceptual de nuestro proyecto, el cual se refiere a una definición gruesa del resultado a obtener del proyecto, incluyendo sus principales características en cuanto a capacidad, tamaño, tipo, propósito y otros aspectos de interés.

La etapa de diseño conceptual considera actividades como: contratación de consultores; revisión de proyectos construidos previamente o en proceso de construcción; identificación de fuentes de información y obtención de ésta; identificación de la necesidad para el proyecto; definición de objetivos, variables y restricciones y el rango de éstas; desarrollo de alternativas; selección entre las alternativas, del concepto que mejor cumple los criterios establecidos; selección del lugar y terreno; preparación de una estimación del «orden de magnitud» del costo; selección de los proyectistas; estudio del impacto del proyecto en el entorno; ejecución de los análisis de factibili-

dad técnica y financiera del proyecto; búsqueda de fuentes de financiamiento alternativas.

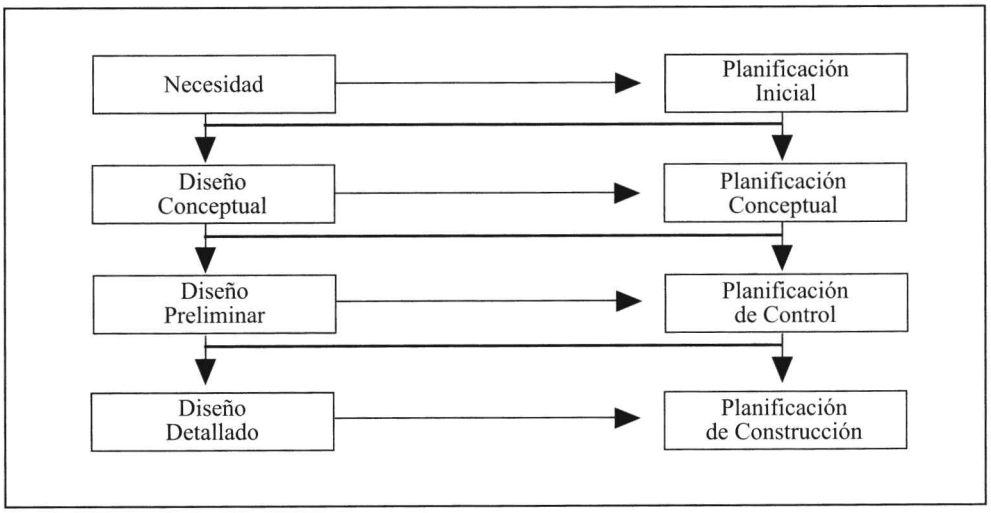


Figura 2.3 Etapas de la Planificación.

Una vez que se tiene el diseño conceptual del proyecto, se realiza una primera planificación, la planificación conceptual que corresponde a lo que normalmente se conoce como un programa maestro en que se enfatizan las fechas de cumplimiento de hitos relevantes del proyecto y se destacan las principales partidas del proyecto a ejecutar.

La etapa de diseño preliminar considera aspectos como: asignación de más personal al equipo de diseño e ingeniería; detalle del proyecto al nivel de partes de obra; asignación de metas de plazos a las actividades principales; desarrollo del diseño preliminar; realización de ensayos, pruebas y visitas necesarias; selección de la alternativa óptima; revisión y congelamiento del diseño; estimación del costo al nivel de instalaciones/obras principales; realización de un análisis de flujos de caja; preparación de un informe detallado del proyecto.

Luego de tener listo el diseño preliminar, se realiza la planificación de control, que es una planificación que permite definir el alcance del proyecto y establecer una planificación lo suficientemente detallada para poder controlar las etapas siguientes del proyecto. Esta planificación es la que se usa normalmente para contrastar el desempeño posterior del proyecto, ya que establece los principales objetivos a lograr con el desarrollo del mismo.

Los aspectos considerados en la etapa de diseño detallado son, entre otros: asignación de asesores y especialistas al equipo de proyecto; desarrollo de sistema de información administrativo; confección de planos detallados; desarrollo de modelos;

preparación de una lista de materiales; desarrollo de procedimientos de ensayo y prueba; escritura y revisión de especificaciones; preparación de contratos; ejecución de una estimación detallada de costos; confección del plan maestro; detalle del proyecto al nivel de contratos; llamado a proponentes y asignación de contratos; adquisición de materiales y equipos a incorporar en el proyecto; realización de análisis de factibilidad de recursos; realización de análisis de factibilidad económica y financiera.

Cuando se realiza la planificación de un proyecto se cuenta con un amplio conjunto de antecedentes que deben ser estudiados por el planificador. Estos antecedentes generalmente se agrupan en:

- Antecedentes del proyecto: la disponibilidad de éstos depende del grado de definición en que se encuentre el proyecto. Entre estos antecedentes se tiene, por ejemplo:
    - Diseño conceptual.
    - Diseño preliminar.
    - Diseño detallado.
    - Planos y especificaciones.
    - Antecedentes históricos de proyectos similares.
- Antecedentes de la empresa: la planificación del proyecto debe ser consistente con el resto de las actividades de la empresa, por lo cual se deberá tener en cuenta aspectos tales como:
    - Estructura organizacional de la empresa.
    - Sistemas de control existentes.
    - Medios computacionales existentes.
    - Procedimientos y políticas internas.
    - Capacidad financiera.
- Antecedentes del entorno: todo aquello que puede impactar el desarrollo del proyecto.
    - Clima del lugar.
    - Condiciones topográficas y geológicas del sitio.
    - Vías de acceso.
    - Capacidades logísticas, permisos, restricciones, etc.
    - Entorno político, económico, laboral, financiero, etc.

Por otro lado, al momento de planificar un proyecto es importante tener claro cuáles son sus expectativas y de qué forma éstas serán comunicadas a todos los miembros del equipo del proyecto. Estas expectativas están asociadas a los objetivos del proyecto en función del contenido de trabajo, costo, plazo y calidad. La figura 2.4 presenta algunos de los elementos utilizados para comunicar las expectativas del proyecto.

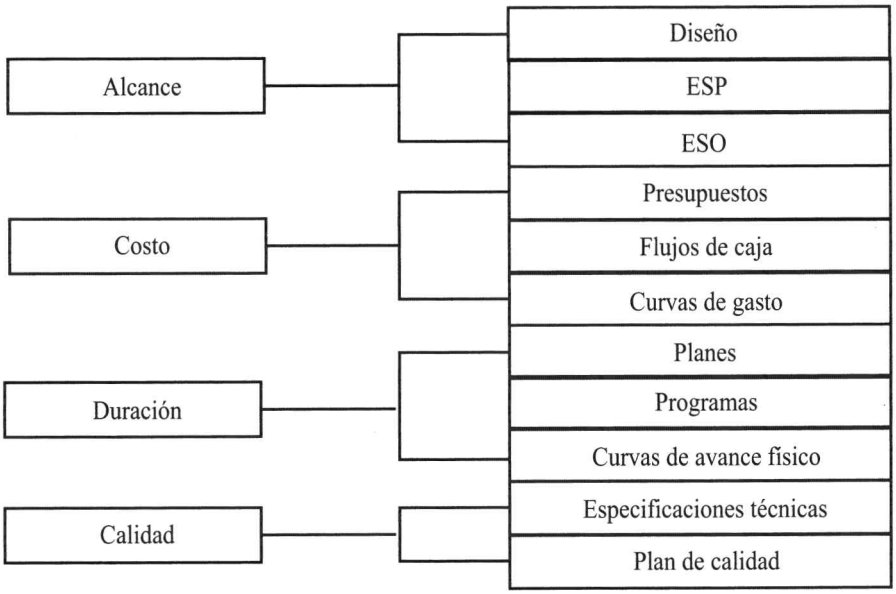


Figura 2.4 Comunicación de expectativas del proyecto.

2.3 Estructura de Subdivisión del Proyecto (ESP)

Los proyectos de construcción son proyectos complejos y en muchos casos de gran envergadura. En su materialización se debe ejecutar un número considerable de actividades. Para poder planificar y controlar efectivamente un proyecto, es necesario subdividirlo de una manera racional y apropiada para estas funciones. La mayoría de las técnicas que permiten lidiar con situaciones de cambio y que al mismo tiempo proveen capacidad para ejercer control, se basan en la descomposición en partes manejables de aquello que se intenta administrar. El resultado de este proceso progresivo de subdivisión se conoce como la Estructura de Subdivisión del Proyecto o ESP (en inglés, Work Breakdown Structure o WBS).

El desarrollo de la ESP comienza en el nivel más alto del proyecto con la identificación de sus principales elementos, los cuales son a su vez divididos y subdivididos cada vez con mayor detalle hasta alcanzar un nivel de subdivisión que sea manejable para efectos de planificación y control. De este modo, se definen elementos o ítems de trabajo comunes, llamados "paquetes de trabajo" (Work Packages), que permiten un método integrado de administración y control del proyecto. Este proceso se presenta en la figura 2.5.

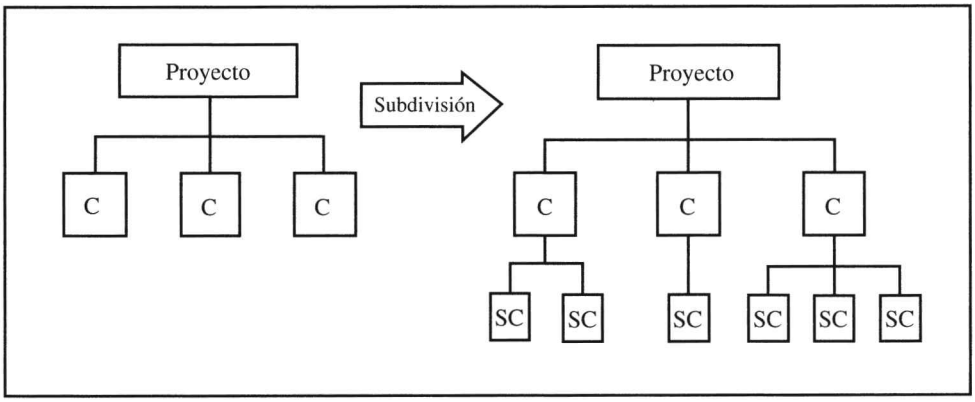


Figura 2.5 Esquema de Subdivisión en «Paquetes de Trabajo».

Estos paquetes de trabajo son simplemente niveles inferiores de trabajos o tareas asignadas, que facilitan y enfatizan la adquisición y utilización de datos para propósitos de planificación y control, a lo largo del proceso de desarrollo del proyecto. Los paquetes de trabajo deben ser desarrollados de manera de facilitar la transferencia de información entre etapas del proyecto y asegurando la compatibilidad de los datos.

La ESP puede ser establecida de cualquier modo, según le acomode a cada proyecto, en niveles de subdivisión tales como: nivel proyecto, nivel geográfico o por área, nivel disciplina, nivel sistema/ componente, nivel actividad y nivel proceso, entre otros.

Sea cual sea el nivel de subdivisión, siempre se debe considerar que el tamaño del paquete de trabajo debe permitir a una persona o a un pequeño grupo, típicamente no especializado, tener un adecuado control sobre éste. Esto hace más fácil fijar y alcanzar objetivos, coordinar los recursos y proveer una correcta dirección al proyecto. Por otro lado, se debe tener presente que a medida que la estructura se va ampliando a niveles inferiores, incorporando componentes cada vez de menor tamaño, el detalle y la especialización aumentan. Subdividir un proyecto no significa que cada paquete de trabajo sea independiente de todo el resto; por ello es necesario asegurar que sus interconexiones sean definidas y reconocidas.

La ESP no debe confundirse con la ESO (Estructura de Subdivisión de la Organización). Esta última se refiere principalmente a asignar las responsabilidades de diferentes grupos u organizaciones y determinar la interacción entre ellas. Mientras la ESP define y organiza el trabajo a ser realizado, la ESO refleja el modo en que el administrador organiza a la gente que lo llevará a cabo. Para asignar responsabilidades de trabajo a los elementos organizacionales apropiados, es necesario que la ESP y la ESO estén eficientemente interrelacionadas. Según se muestra en la figura 2.6,

esta interrelación puede ser visualizada como una matriz con los elementos de la estructura organizacional en un eje y los elementos de la ESP en el otro (Moder, Phillips, Davis, 1983).

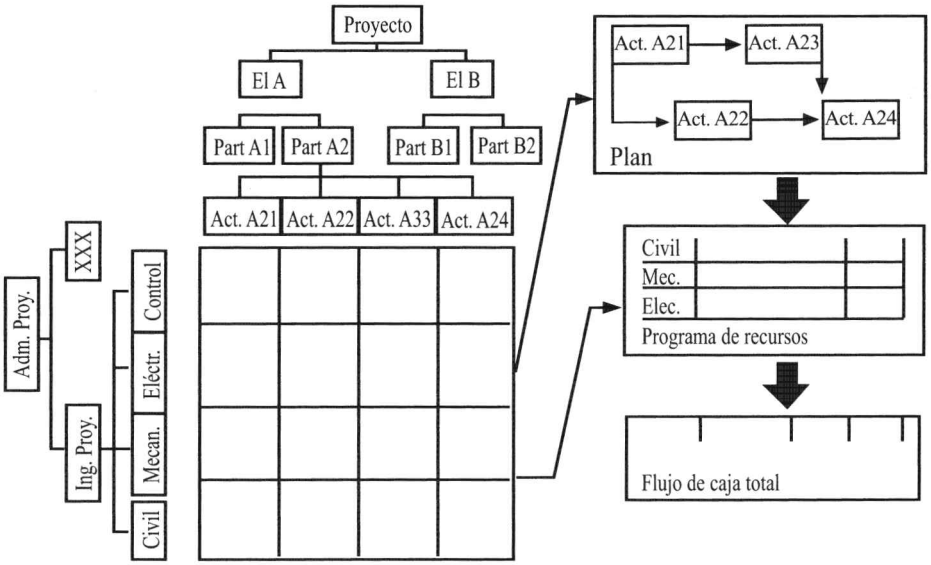


Figura 2.6 Relación entre ESP y ESO.

La subdivisión de un proyecto puede ser de mucha utilidad para manejar más eficientemente la planificación, el control, el diseño, la ingeniería, las adquisiciones, la estimación de costos, el control de rendimientos, la identificación y manejo de riesgos y la estimación de recursos, entre otros. Los pasos a seguir para diseñar y desarrollar una ESP se pueden resumir como sigue:

- Considerar la forma más probable de desarrollo, manejo y control del proyecto.
- Sudividir el proyecto en forma progresiva hasta el nivel en el cual el trabajo será controlado y/o ejecutado.
- Asegurar que cada elemento o partida sea un segmento único y definible.
- Asegurar que cada elemento de la ESP sea un grupo de tareas relacionadas y capaces de ser sumadas, proporcionando un alcance, programa y costo definido para todos los elementos de la estructura.
- Incluir elementos de apoyo a la ejecución del proyecto, aún cuando no estén directamente relacionados con el producto del proyecto.
- Asignar códigos estructurados a cada elemento de la estructura.

Un ejemplo de subdivisión, incluyendo códigos de los elementos se muestra en la figura 2.7 a continuación.

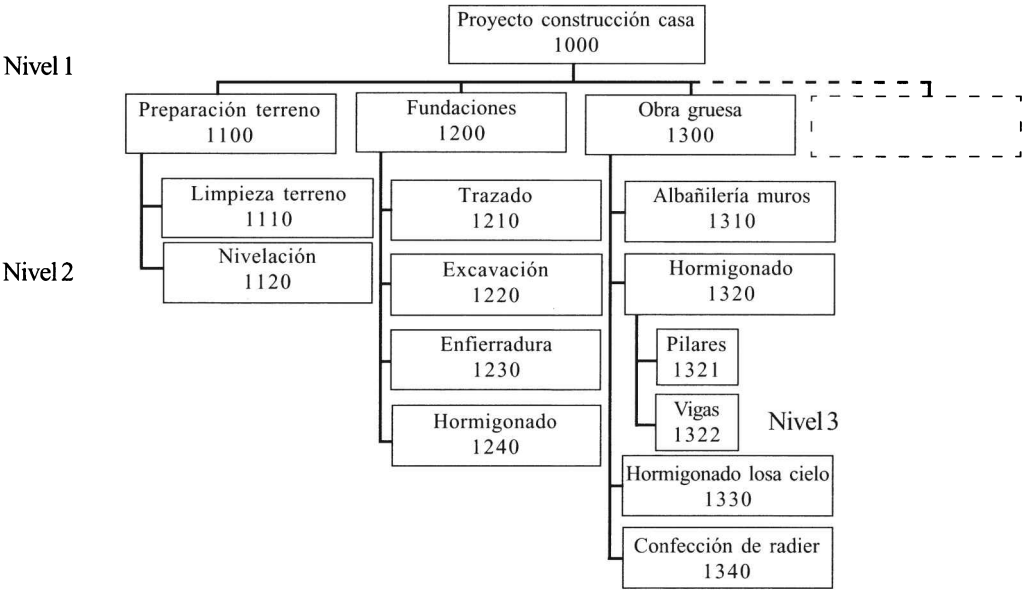


Figura 2.7 Ejemplo de una ESP, codificación y nivel de detalle.

Debe recordarse que existen ciertas actividades que no son representativas del trabajo de construcción propiamente tal pero que son necesarias para la ejecución del proyecto, tales como: confección de planos de construcción y fabricación, ensayos y tomas de muestras, adquisición de equipos, movilización e instalación de faenas, aseguramiento de calidad y otros. Estas actividades también tienen que incorporarse en la planificación toda vez que requieren esfuerzo de trabajo y ocupan recursos.

Al realizar la planificación y subdivisión de un proyecto de construcción, es importante tener en cuenta que existen dos niveles jerárquicos que pueden distinguirse y que no deben confundirse dado que sus propósitos son diferentes. Estos niveles se indican a continuación:

- Organización
- Proyecto
- Actividad

Enfasis en los atributos del proyecto y en los componentes físicos

- Operación
- Proceso
- Tarea

Enfasis en la acción de terreno y en los procesos tecnológicos

Los primeros niveles corresponden a aquellos que están asociados a las características del proyecto y a la asignación de responsabilidades. Son niveles que tienen mayor énfasis en la forma de organización que se va a generar para llevar a cabo el proyecto y el contenido de trabajo del proyecto en cuanto a los resultados físicos que

se espera lograr. Los segundos niveles de operación, proceso y tarea, están relacionados principalmente a la forma de producción que se utilizará en terreno. Normalmente estos niveles caen en la categoría de Planificación Operacional. En este texto, el principal interés está en los niveles superiores y el proceso de planificación será visto dentro de esta perspectiva.

2.4 Actividades y Acontecimientos

Para los efectos de planificación y control de la construcción de un proyecto es necesario identificar todas las actividades que deben ser realizadas durante su ejecución, al igual que todos los acontecimientos importantes.

Se entiende por evento o acontecimiento algo que ocurre en un instante dado y que puede ser identificado por un nombre y una fecha de ocurrencia. La duración de un acontecimiento es despreciable en comparación con la duración de las actividades consideradas, estando siempre un acontecimiento asociado al inicio o término de una actividad o de un conjunto de actividades. Normalmente los acontecimientos se usan como puntos de referencia o de control, siendo varios de ellos denominados hitos del proyecto.

Los elementos en los que los proyectos son subdivididos para poder desarrollarlos de acuerdo a un programa de trabajo son llamados actividades. Una actividad es una pieza reconocible de trabajo que tiene un comienzo y un fin bien determinados. Cada actividad tiene características propias y diferentes, las que pueden subdividirse en atributos cuantitativos (medibles) y atributos cualitativos (no medibles, pero sirven para identificar la actividad). Los principales atributos cuantitativos son los siguientes:

- Duración estimada: corresponde al período de tiempo que se le asigna a cada actividad para lograr ser terminada.
- Fechas de inicio y término: corresponden a dos eventos que delimitan entre qué fechas debe realizarse la actividad.
- Porcentaje de avance teórico: es el porcentaje de avance de una actividad que debiera tener en una fecha de control determinada, de acuerdo al programa original.
- Costo estimado: es el costo determinado para cada actividad que se usa para el cálculo del presupuesto total.
- Recursos: mano de obra, materiales y equipos. Para cada actividad se debe señalar el requerimiento de recursos que tenga.

A su vez, entre los principales atributos cualitativos es posible mencionar:

- Nombre de la actividad: debe ser lo suficientemente claro para identificar la actividad fácilmente y no confundirla con otra.

- Descripción del trabajo incluido: para cada actividad debe realizarse un detalle del trabajo que se necesita para completarla, incluyendo eventos importantes como son el inicio y el fin de éstas.
- Número o código: se utiliza para identificar más fácilmente las actividades y poder así relacionar grupos de éstas para formar partidas de trabajo.
- Calendario de trabajo asociado: se debe determinar el tipo de calendario que se utilizará para cada actividad. Dentro de un mismo proyecto pueden encontrarse distintos tipos de calendario. Por ejemplo, para actividades continuas como un hormigonado con moldajes deslizantes podría utilizarse un calendario de lunes a domingo con tres turnos; en cambio para otras actividades podría utilizarse un solo turno de lunes a viernes.

Como en un proyecto la cantidad de actividades generalmente es muy grande, existen varias formas de clasificarlas para después poder ordenarlas y realizarles un seguimiento y control de estado. Las clasificaciones más comunes son:

1. Clasificación según su comportamiento:

- Actividades de desarrollo continuo: son las que una vez iniciadas no tienen contempladas detenciones en su ejecución (endurecimiento del hormigón).
- Actividades de desarrollo discontinuo: propio de actividades tales como las instalaciones en una edificación (eléctrica, gas, agua, etc.).
- Actividades periódicas: típico de actividades de mantenimiento o limpieza.
- Actividades mutuamente excluyentes: son aquellas que la ejecución de una implica que no se puede estar realizando la otra (enfierradura, hormigonado).

2. Clasificación según su estado:

- Actividad programada: se encuentra dentro del programa, pero todavía no se ha iniciado.
- Actividad en proceso: se refiere a todas las actividades que han comenzado a ejecutarse pero que no han sido completadas (llevan un porcentaje de avance).
- Actividad paralizada: se refiere a alguna actividad en proceso que ha debido detenerse (detención programada o detención por imprevistos).
- Actividad terminada: actividad que llegó al 100% de avance y se detuvo por su finalización.

Analicemos por ejemplo el caso de la actividad "demolición de acera" perteneciente a un proyecto de construcción de un nuevo paradero de autobuses. Como se ilustra en

la figura 2.8, ésta es una actividad en proceso, ya que ha comenzado a ejecutarse pero no ha sido finalizada y está programada como de desarrollo continuo ya que una vez iniciada no se detendrá hasta haber sido completada.

Fecha:	4 marzo	
Nombre actividad:	Demolición de acera	
Código de identificación:	0210	*Atributos cualitativos*
Calendario de trabajo:	09:00 - 19:00 hrs. de lunes a viernes 11:00 - 16:00 hrs. sábado	
Duración actividad:	2 días	
Fecha inicio:	4 marzo	*Atributos cuantitativos*
Fecha término:	5 marzo	
Recursos:	2 jornales, 2 martillos neumáticos, 1 chuzo.	
Costo:	$ 57.865	

Figura 2.8 Ejemplo de especificación de una actividad.

Las actividades deben ser definidas a un nivel de detalle apropiado, es decir, adecuado para las necesidades de los usuarios de la planificación y el control, permitiendo además que las relaciones lógicas entre actividades puedan especificarse. El nivel de detalle de las actividades está directamente relacionado con el nivel de detalle del programa que se quiere obtener y a qué nivel se va a controlar tal como se muestra en la figura 2.9.

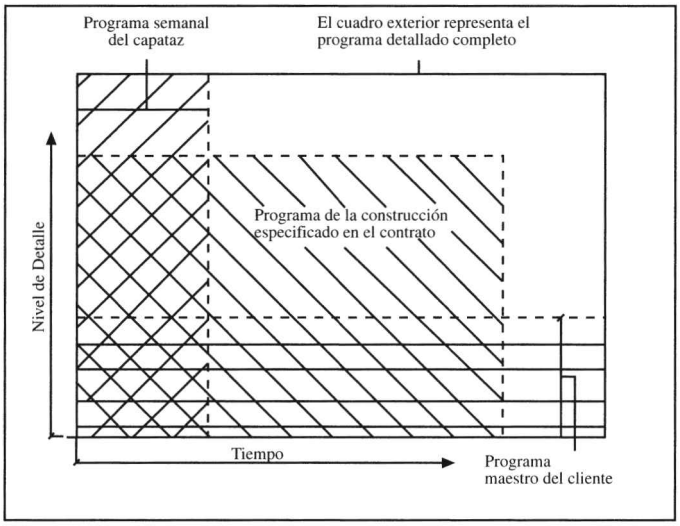


Figura 2.9 Nivel de detalle y tiempo empleado en la planificación.

Por esto, para entregar un programa de trabajo diario, por ejemplo para el jefe de obra, es necesario lograr un alto nivel de detalle en todas las actividades involucradas en éste; en cambio para el programa maestro, programa que muestra el objetivo o producto final del proyecto y los productos intermedios para lograrlo, se necesita un nivel de detalle menor para poder visualizar el proyecto desde un punto de vista más macro.

El orden en que las actividades de un proyecto se inician y las relaciones entre ellas, constituyen el plan de construcción. A partir de este ordenamiento de las actividades es posible generar los diferentes modelos de representación del plan. El programa de construcción debe incluir cada parte importante del proyecto. La falta de alguna parte del proyecto nos indicaría que el programa estaría incompleto y por lo tanto no sería confiable.

Para ordenar las actividades es necesario formular una lógica de construcción. Esto implica un planteamiento preciso de las relaciones entre actividades. El ordenamiento general de las actividades de un proyecto no es difícil, ya que muchas veces su propia descripción implica una localización relativa dentro del trabajo. Sin embargo, el orden estricto es más difícil y requiere consideraciones cuidadosas.

Existen diferentes tipos de restricciones que determinan las relaciones entre las actividades y la secuencia de ejecución de ellas. Entre las más importantes podemos nombrar:

- Restricciones físicas o técnicas: dependen del método de trabajo adoptado. Para cada actividad deben hacerse las preguntas: ¿Cuáles son las actividades precedentes a ésta? ¿Qué actividades deben seguir a ésta? ¿Qué actividades pueden realizarse simultáneamente con ésta?
- Restricciones de seguridad: uso de explosivos, derrumbes, trabajos en sectores peligrosos, etc.
- Restricciones por recursos: materiales y/o maquinarias disponibles, disponibilidad de mano de obra, etc.
- Restricciones por oportunidad de inversión.
- Restricciones administrativas: reglamento de las empresas en cuanto a límite máximo de horas de trabajo, por ejemplo.
- Restricciones ambientales: clima, características del lugar, flora y fauna existentes, etc.
- otras restricciones

A partir del análisis de restricciones se secuencia, es posible listar las actividades y

relacionarlas de acuerdo a sus precedencias. Posteriormente, estas relaciones pueden graficarse, para crear el plan de trabajo. Las formas gráficas que pueden usarse se explican más adelante.

2.5 Estimaciones de costo y tiempo de las actividades

Una de las mayores dificultades al momento de desarrollar una buena planificación es la falta de información con que se cuenta cuando se está planificando. Esta falta de información nos obliga a realizar estimaciones de los costos y la duración de las actividades.

Una estimación es la proyección del valor de un parámetro relevante de un proyecto, ponderada e influenciada por la información objetiva y subjetiva que se tenga. La calidad de la estimación depende de la experiencia de quien estima, de la información disponible y de la base de datos de antiguos proyectos con que se cuente.

El tiempo utilizado en estimar y la precisión que se obtenga en la estimación, son directamente proporcionales a su costo e inversamente proporcionales al costo en que se puede incurrir al tener una mala estimación. Por esto, la estimación óptima no será la de más precisión, sino que será un valor en que el costo de la estimación y el costo por error en la estimación sean iguales, según se ilustra en la figura 2.10.

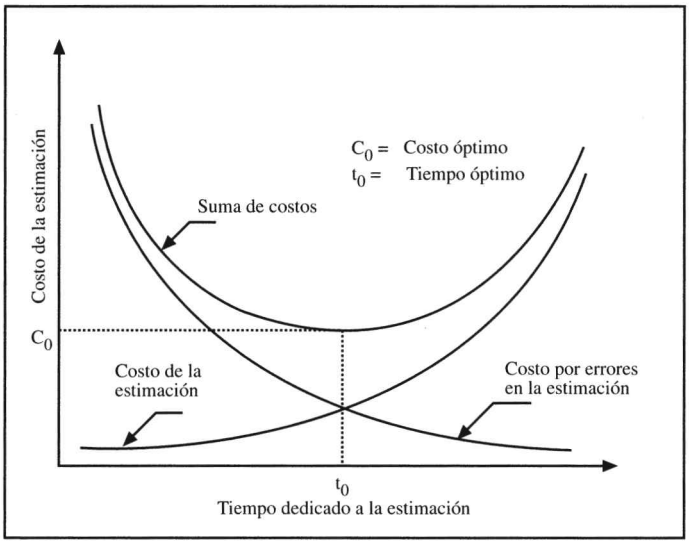


Figura 2.10 Costo Óptimo de la Estimación.

El conocimiento acabado de la inversión y del capital requerido para financiar nuevos proyectos, es esencial para las decisiones de la administración superior con relación a

aceptar o rechazar dichos proyectos (asignación de fondos, toma de decisiones para la reserva de capital, toma de decisiones para el análisis de alternativas, control del proyecto). Es por ello que muchas veces es necesario realizar estimaciones de la duración y de los costos de las actividades que se incluirán dentro del programa de una planificación. Estos parámetros de las actividades dependen de diversos factores, dentro de los cuales podemos mencionar: el volumen y la naturaleza del trabajo contenido en la actividad (como es lógico suponer, a mayor cantidad o complejidad del trabajo de una actividad, mayor su duración); la cantidad de recursos asignados a la actividad; la productividad/rendimiento de los recursos; el precio unitario de cada uno de los recursos; el uso de tiempo normal o sobretiempo; el nivel de supervisión ejercido durante la ejecución y otros factores de carácter incierto (clima, abastecimiento, etc.).

Las estimaciones se pueden realizar con distintos grados de exactitud, dependiendo principalmente de sus costos y de la etapa del proyecto en la cual se necesiten. Por esto, las estimaciones se dividen en los siguientes tipos:

- Estimación de Orden de Magnitud: generalmente realizada como parte del análisis de factibilidad de un proyecto.
- Estimación Conceptual: normalmente utilizada por el dueño de un proyecto para determinar el presupuesto del mismo y otras decisiones tempranas.
- Estimación Detallada o Preliminar: generalmente basada en medición de cantidades, una vez que se cuenta con un diseño detallado casi completo.
- Estimación Definitiva: es una actualización de la estimación detallada, con énfasis en costos actuales más que en costos proyectados.

Los datos de la tabla 2.1 muestran cómo las estimaciones aumentan su exactitud y disminuyen el porcentaje de contingencias probables a medida que se avanza en el proyecto, dependiendo del tipo y características de éste y de la información disponible.

Tabla 2.1 Valores estimados de la exactitud esperada de los tipos de estimaciones

Descripción	Tipo	Ingeniería Desarrollada (%)	Contingencias Probables (%)	Exactitud de la Estimación (%)
Definitiva	4	40	8	± 5-10
Preliminar	3	12	12	± 10-20
Conceptual	2	5	15	± 15-30
Orden de Magnitud	1	2	20	± 30-50 o más

Es importante tener en cuenta que al momento de realizar una estimación, es muy fácil caer en errores que harían perder rápidamente toda la validez de ésta. Por esta

razón, para lograr una buena estimación es necesario tener en cuenta que: las estimaciones son sólo de exactitud aproximada y no entregan un valor exacto del suceso que se está estimando (duración o costo); la ley de las compensaciones ayuda, pero puede ser peligrosa para una empresa constructora, ya que como las estimaciones dependen de quien las haga, el valor final compensado puede tener un amplio rango de variación. Por otro lado, las personas tienden a ser optimistas, lo que se ve reflejado inmediatamente en el valor de la estimación.

En el caso específico de la estimación del costo de un proyecto, ésta incluye:

- Costos generales indirectos: se refiere a todos aquellos gastos en que se incurre por la materialización del proyecto pero no directamente asociados a actividades específicas.
  - Gastos generales de oficina central, tales como costos de administración general de la empresa, gastos de oficina central, etc.
  - Costos indirectos de obra, tales como la administración de la obra, administrativos de obra, etc.
- Costos directos: es la estimación, realizada por el contratista, de cuánto le va a costar cada partida en cuanto a materiales, mano de obra, equipos y subcontratos directamente asociados a las actividades de construcción de un elemento.

Los costos indirectos de obra generalmente aumentan al aumentar la duración del proyecto, mientras que los costos directos de obra normalmente disminuyen. El detalle de cómo se calcula cada una de estas partidas de costos y los factores que influyen en ellos, se indican en la tabla 2. 2 mostrada a continuación:

Tabla 2.2 Costos propios de una obra de construcción.

Costo de materiales	Costo de mano de obra	Costo de equipos de construcción	Costo de Subcontratos
• Materiales Incorporados • Consumos • Cantidad - Cubicación - Pérdidas • Precio Unitario - flete - material - IVA - validez	• Tipo de trabajo • Volumen - colocación - labores asociadas o auxiliares • Productividad / rendimiento • Costo unitario - por unidad o trato - al día	• Volumen de trabajo • Productividad / rendimiento • Costo horario del equipo • Operador	• Propuesta • Negociación directa

2.6 Programa Maestro

El programa maestro es el programa más importante de que dispone el administrador de un proyecto y se refiere principalmente a las variables de alcance, plazo y costo. La información que provee constituye la base para la realización de programas más detallados.

El programa maestro contempla el proyecto en su totalidad, es decir, muestra el objetivo o producto final del proyecto y los productos intermedios para lograrlo. Al proveer una visión común de los logros del proyecto, permite controlar la evolución del alcance para todos los participantes de éste. Permite además contar con elementos tangibles de control asociados a los logros del proyecto. Generalmente este programa se representa como un programa de hitos o acontecimientos clave de un proyecto.

El programa de hitos del proyecto tiene carácter general y su finalidad básica es proporcionar información a todos los agentes que participan en el proyecto, sobre los hitos a cumplir durante el desarrollo del proyecto. Se entiende por hito un acontecimiento que ocurre en un instante dado y que puede ser identificado por un nombre y una fecha de ocurrencia. Los hitos son eventos asociados al inicio o término de una o un conjunto de actividades y se usan como puntos de referencia o de control en un proyecto, tal como se muestra en la figura 2.11.

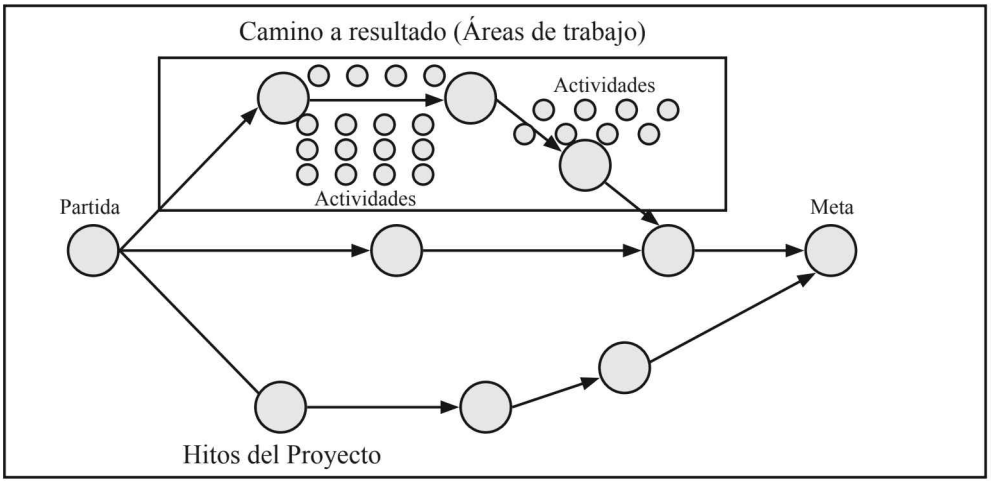


Figura 2.11 Representación gráfica de los hitos de un proyecto.

Cada uno de los hitos de la figura 2.11, representa un objetivo a cumplir que es necesario para poder llegar a la meta del proyecto. Para cumplir cada hito, se requiere llevar a cabo un conjunto de actividades. Cada una de estas actividades puede estar asociada a algún departamento o persona en la organización. A su vez, cada hito

tendrá una fecha planeada de cumplimiento. Una forma más detallada de representación se presenta en la figura 2.12.

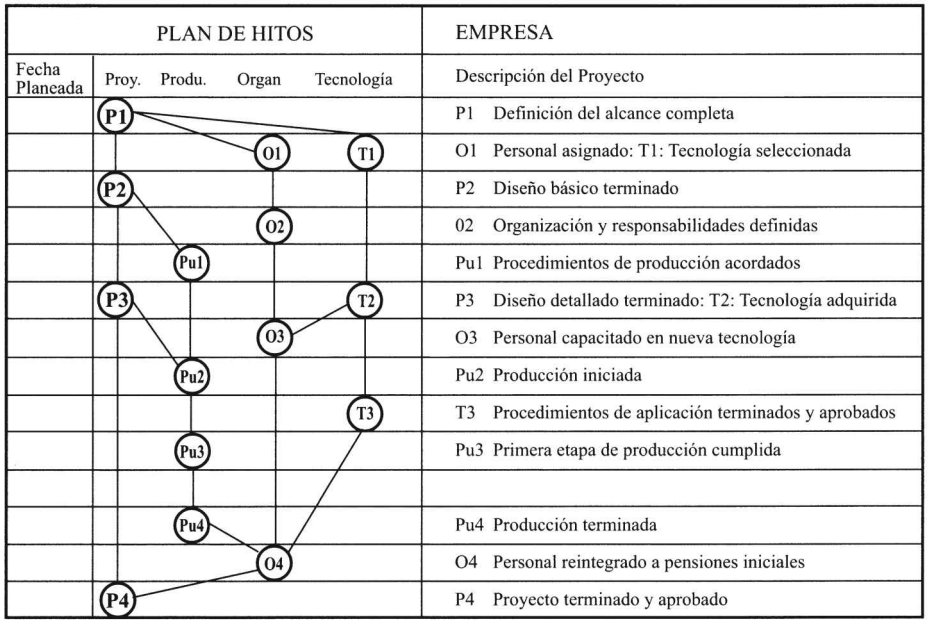


Figura 2.12 Ejemplo de un plan o programa de hitos.

2.7 Resumen

El objetivo de este capítulo era mostrar la importancia de la planificación y entregar ciertos conceptos básicos necesarios para desarrollar un adecuado plan de ejecución de un proyecto. Es así como se ha querido mostrar las etapas básicas para la preparación de un plan de trabajo y la estrecha relación que existe entre planificación y diseño. Se pretendió además aclarar los conceptos de actividad y acontecimiento, así como los de antecedentes, propósito y alcance de un proyecto.

Las herramientas básicas para planificar un proyecto, tales como la Estructura de Subdivisión de Proyecto (ESP), la Estructura de Subdivisión de la Organización (ESO) y su interrelación, son definidas detalladamente en este capítulo. También se entregan ciertas herramientas de gran utilidad en la administración y control de proyectos, como son el programa maestro y el programa de hitos.

La falta de información con que se cuenta al realizar cualquier planificación hace que las estimaciones de costo y tiempo de las actividades sean un factor muy importante al momento de realizar una buena planificación. Por esto, se han analizado los distintos tipos de estimaciones que pueden realizarse y los aspectos que se deben tener en cuenta para obtener una buena estimación.

2.8 Ejercicios

Conceptos

1. ¿Cómo se clasifican los antecedentes relevantes para el planeamiento? ¿Cómo influencian cada uno de estos grupos al proyecto y su planificación?

2. ¿Por qué es importante la descripción acotada de una actividad?

3. ¿Cómo se determina la secuencia de las actividades de un proyecto?

4. Explique las siguientes restricciones de secuencia aplicables al ordenamiento de las actividades y su forma de aplicación:

   a) Restricciones de seguridad.
   b) Restricciones por recursos.
   c) Restricciones físicas.
   d) Restricciones administrativas.

5. La secuencia de las actividades de un proyecto se determina usando las restricciones de secuencia. ¿Cuáles son las restricciones que fijan el orden estricto de la secuencia de un proyecto? ¿En qué forma son considerados los otros tipos de restricciones, y en qué situación pueden modificar la secuencia estricta establecida por las primeras?

6. A continuación se indican varias actividades propias de un proceso de planificación:

   - Confección de la carta de barras del proyecto.
   - Presupuesto de costos.
   - Estudio de antecedentes.
   - Análisis de recursos.
   - Cómputo de la malla y determinación del cronograma.
   - Determinación de la secuencia entre las actividades.
   - Seguimiento del programa.
   - Subdivisión del proyecto.

Indicar cuál es la secuencia lógica en que deben ser realizadas estas actividades.

7. ¿Cuáles son las razones para desglosar o subdividir un proyecto, y qué se entiende por estructura de desglose o de subdivisión?

8. En una estructura de subdivisión, ¿Qué características deben cumplir las actividades de un mismo nivel? ¿Qué condiciones deben cumplirse entre niveles de subdivisión?

9. ¿De qué depende el nivel de detalle de la subdivisión de un proyecto?

10. Se dice que la "Estructura de Subdivisión" de un proyecto es un instrumento de comunicación. ¿Por qué?

11. ¿Cuáles son los elementos básicos de la estructura de subdivisión?

12. Explique 5 conceptos o características fundamentales del proceso de subdivisión del proyecto.

13. ¿Por qué es necesario subdividir un proyecto de construcción para poder planificarlo y controlarlo? ¿Cuál es el resultado de este proceso?

14. Existen dos jerarquías o dimensiones de definición de la subdivisión de un proyecto: ¿Cuáles son estas jerarquías? ¿Cómo se relacionan estas jerarquías entre sí? ¿Cuál es la importancia de dicha relación para efectos de dirección y control de un proyecto?

15. ¿Cuáles son las diferencias conceptuales entre «actividad» y «acontecimiento»?

16. Haga una comparación entre los atributos de las actividades y los atributos de los eventos.

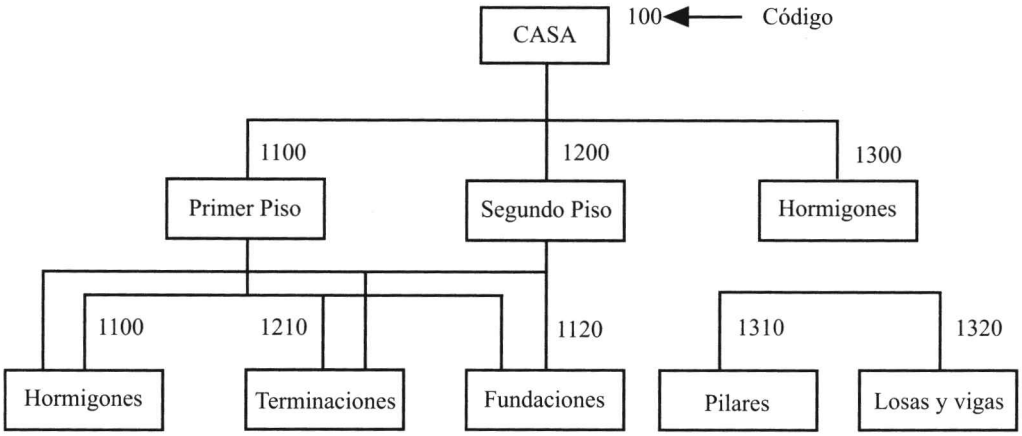
17. Indique y explique 3 aplicaciones de los "paquetes de trabajo" (Work Packages) en la etapa de construcción.

Problemas

1. Suponga que Ud. está a cargo de la preparación y organización de una gira de negocios de un grupo de ejecutivos de una empresa importante por Europa y Estados Unidos. Este viaje se realizará en aproximadamente 4 meses, y considera entrevistas con importantes ejecutivos bancarios y de distintas empresas de USA, Inglaterra, Italia, Alemania, España, Francia y Suiza. Se estima que la estadía en cada uno de estos países será en promedio de 3 días.

   Con la información entregada, confeccione la estructura de subdivisión de este proyecto, respetando los principios conocidos por Ud. hasta ahora.

2 Suponga que a Ud. le presentan la siguiente Estructura de Subdivisión de un proyecto. Haga un análisis crítico de esta estructura.


CASA
100
Código
1100
1200
1300
Primer Piso
Segundo Piso
Hormigones
1100
1210
1120
1310
1320
Hormigones
Terminaciones
Fundaciones
Pilares
Losas y vigas

III.
TÉCNICAS BÁSICAS DE PLANIFICACIÓN

3.1 Introducción

Es muy importante distinguir entre planificación y el uso de técnicas de planificación. Con planificación nos referimos a la actividad mental creativa de trabajar sobre qué se debe hacer, cómo, en que lugar, por quién y con qué, lo que implica realizar el trabajo en la mente. Los planes no son tan sólo pedazos de papel. Los planes representan el resultado de raciocinios cuidadosos, discusiones, decisiones y acciones, y de compromisos realizados entre las personas involucradas. Por otro lado las técnicas de planificación forman las herramientas del planificador; ellas ayudan a analizar el plan, organizar la información, y tienen un efecto crucial en la manera en que se entregan los resultados a otros.

Estos dos elementos, tomados juntos, dan como resultado un plan de trabajo: una estrategia y tácticas para la ejecución del proyecto, en función de actividades, tiempo, cantidades, recursos y quizás costos y precios. El plan es expresado como diagramas y reportes, los que entregan las bases para comunicar lo que se ha planeado. Este proceso se ve ilustrado en la figura 3.1.

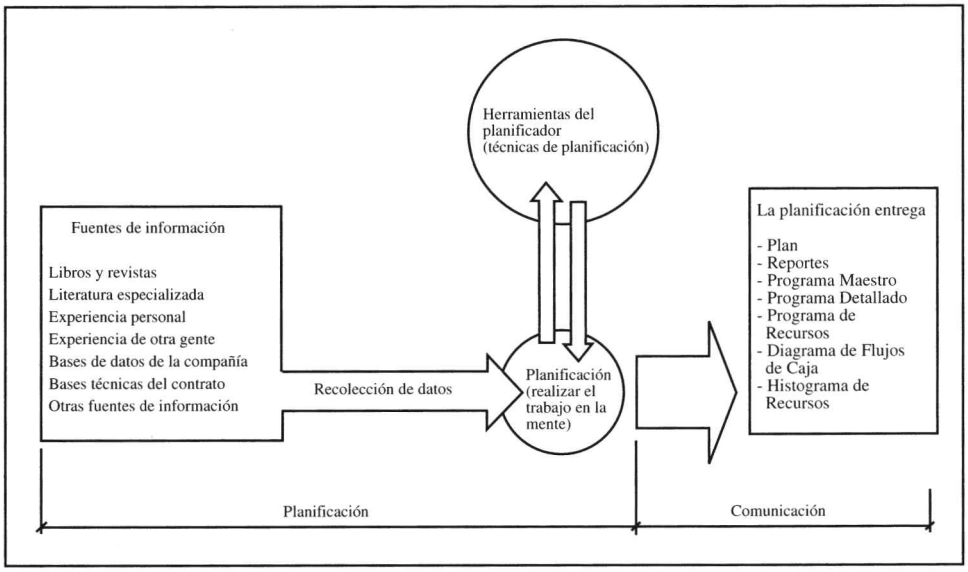


Figura 3.1 El proceso de la planificación (adaptado de Neale y Neale, 1989).

La importancia de distinguir entre la planificación y el uso de técnicas de planificación, radica en que el planificador no puede realizar ningún plan si no es en conjunto con los directivos; sin el trabajo de los directivos los planificadores se convierten en meros teóricos.

Las principales técnicas de planificación son las cartas de barras (Cartas Gantt), las líneas de balance, la programación rítmica y los análisis de mallas. Existen además otras técnicas como los modelos físicos y la simulación con computadoras. En este capítulo se detallarán los métodos de las cartas de barras y el análisis de mallas.

Al igual que otras importantes decisiones, el profesional a cargo de la planificación debe ser capaz de elegir la herramienta adecuada como apoyo a su trabajo. No sería adecuado utilizar un análisis de malla para un trabajo simple, cuando con una carta de barras sería suficiente. Al igual, la utilización de técnicas como las líneas de balance o la programación rítmica que sólo sirven para la realización de trabajos específicos, son sólo modelos que deben representar la realidad de la mejor forma posible. Un esquema lógico que pudiera ser útil para determinar que técnica utilizar se muestra en la figura 3.2.

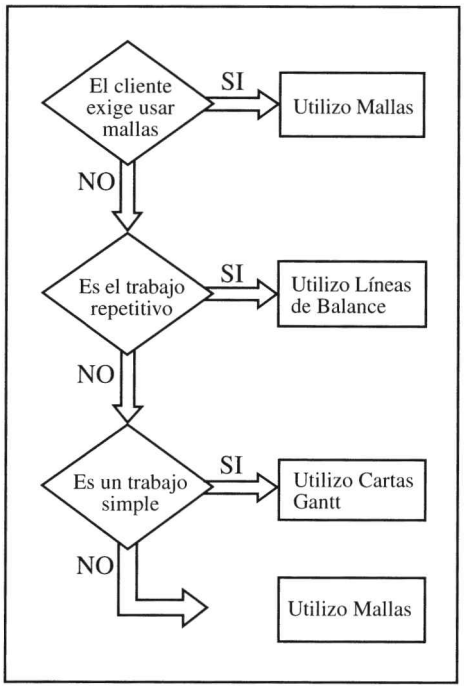


Figura 3.2 Esquema lógico de decisión (adaptado de Neale y Neale, 1989).

Es muy importante notar que la elección de la técnica de planificación que se utilizará está muy relacionada con el nivel de detalle que se le quiere dar al programa. Por ejemplo, en un proyecto de gran envergadura se utilizaría alguna técnica de mallas, pero una actividad de esta malla podría ser una actividad repetitiva, la que sería conveniente programar en detalle con otra técnica más adecuada para eso, como las líneas de balance.

También relacionado con el nivel de detalle, se pueden distinguir tres niveles en que se debe planificar según la extensión de los plazos (ver figura 1.5):

- **Planificación estratégica:** Comúnmente, los primeros planes generales de un proyecto, son generados en forma de una carta de barras. Estos planes normalmente subdividen el proyecto en secciones globales, que indican los principales elementos de trabajo identificables en las etapas iniciales. La planificación de largo plazo con cartas de barras, permite visualizar las relaciones entre los principales componentes del proyecto y definir los objetivos generales que se desea lograr. Esto se complementa agregando eventos o hitos (milestones) críticos o puntos de control. Las duraciones de las actividades en estos planes se expresan normalmente en meses o años, dependiendo de la magnitud del proyecto. También estos tipos de planes son utilizados como herramientas de control e información para la

administración superior del proyecto (dueño o contratista). Normalmente los informes de avance y de proyección a futuro son presentados usando este tipo de representación en conjunto con las curvas de gasto.

- **Planificación táctica y operacional:** Para estos niveles de planificación, se aumenta el detalle incorporando más actividades en la carta de barras, al aumentar la subdivisión de los componentes del proyecto. Este aumento del número de ítemes de trabajo puede hacer crecer la carta de barras hasta un tamaño poco manejable, por lo que se aconseja dividirla en forma adecuada. Estos planes son utilizados por la administración del proyecto y de terreno para la dirección y control de la ejecución de la obra. Normalmente las unidades de tiempo utilizadas corresponden a semanas o días.

3.2 Métodos de Planificación

3.2.1 La Carta Gantt

Ésta fue desarrollada por Henry Gantt alrededor del año 1900. Usualmente se le denomina también como carta de barras. Es la herramienta de planificación más fácil de usar, y comprender, por lo que es de gran uso en la construcción. Ofrece una visualización adecuada de las actividades a realizar y una forma gráfica de representación de la información de planificación, de gran utilidad. La carta Gantt puede ser usada como única herramienta de planificación de un proyecto, dependiendo de la complejidad de éste. Otras características de este método son: es aplicable en planes generales en un proyecto desde su inicio, permite destacar objetivos y metas de un proyecto a través de eventos críticos y es relativamente fácil de seguir y así lograr un buen control sobre el proyecto. En la figura 3.3 se puede ver un ejemplo de carta Gantt de un proyecto de construcción de un paradero de autobuses.

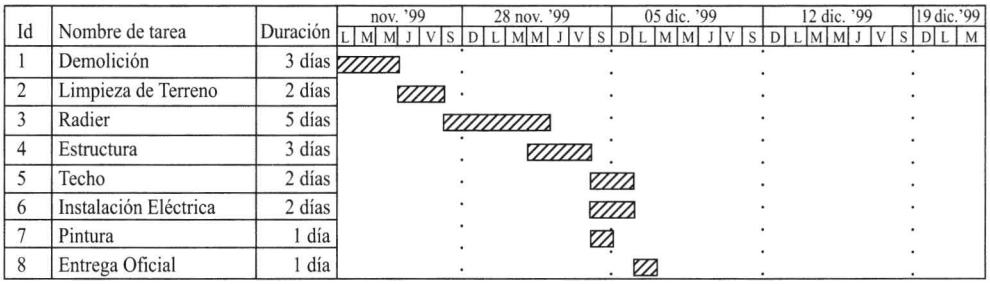


Figura 3.3 Carta Gantt o Carta de Barras.

Las cartas de barras son probablemente la ayuda más utilizada para la programación de obras hoy en día. Se usan en todos los niveles de planificación, tanto a largo, mediano y corto plazo. Éstas permiten a la administración de un proyecto la visuali-

zación de las actividades que deben ser ejecutadas y cuando deben estar terminadas. Esto se logra a través de una representación gráfica, que es una de las mejores maneras de transmitir este tipo de información.

El formato en que se representan las cartas Gantt es muy simple. Las actividades que componen el proyecto se listan hacia abajo en el lado izquierdo del diagrama; en la parte superior y en sentido horizontal se coloca la escala de tiempo y las barras que se dibujan frente a cada actividad representan la duración de cada una y el momento (en el tiempo) en que deben ser ejecutadas. Para darle más claridad a la carta de barras, es común que las actividades se listen en orden cronológico o al menos por grupos de actividades consecutivas.

- **Cartas de Barras Ligadas**

Una de las principales desventajas de las cartas de barras es que no muestran en forma efectiva, las dependencias entre actividades. Esta limitación puede eliminarse con la utilización de cartas de barras ligadas (figura 3.4). Este tipo de representación muestra las relaciones de dependencia entre las actividades de forma que los usuarios de ellas, puedan seguir visualmente, el flujo lógico de trabajo, con el grado de dependencia o de desfase indicado por líneas orientadas que conectan las actividades.

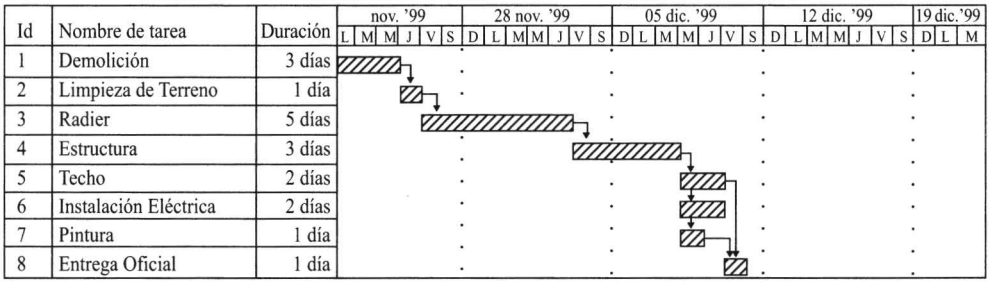


Figura 3.4 Carta Gantt ligada o Carta de Barras ligadas.

La carta de barras es muy útil también para el seguimiento y control. La ventaja inmediata, al utilizarla como herramienta de control, es que se visualiza gráficamente el estado del desarrollo de las actividades de acuerdo a lo planificado para la fecha de control. Para efectuar este control se dibuja una segunda barra, la que indica el trabajo realizado hasta la fecha. Para un control preciso, la segunda barra brinda una ayuda limitada, ya que indica cuando se ha iniciado el trabajo de alguna actividad. Observando la figura 3.5 (arriba), uno sólo puede determinar si la actividad ha empezado a ejecutarse y cuantos días se lleva trabajando en ella, pero es imposible saber cual es el porcentaje real de avance de la actividad. Para solucionar esto se puede agregar a la carta Gantt una columna que indique el porcentaje de avance real de la actividad, tal como se muestra en la figura 3.5 (abajo).

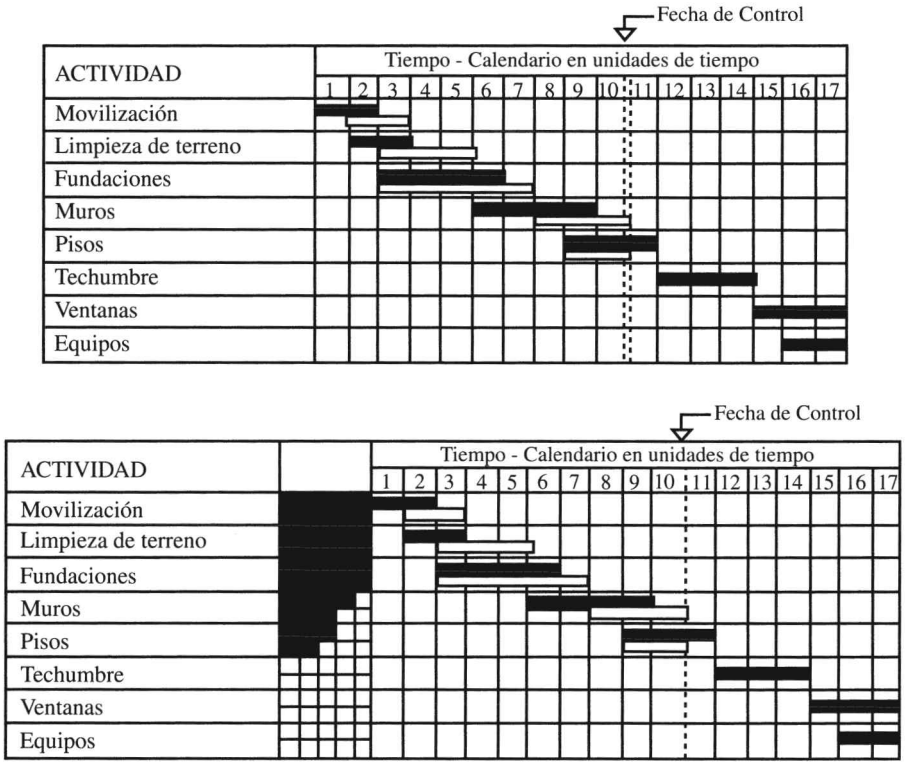


Figura 3.5 Carta Gantt modificadas para control.

A pesar de todas las ventajas que tienen las cartas de barras, no hay que olvidar que también poseen una serie de desventajas tal como se indica en la tabla 1. Muchas de estas desventajas pueden ser superadas con la utilización conjunta de otros métodos de programación, como por ejemplo, el análisis de mallas junto con la carta de barras.

Tabla 3.1 Ventajas y desventajas de la Carta Gantt.

Ventajas	Desventajas
• Son fáciles y rápidas de dibujar • No requieren de equipos especiales • Proveen una representación simplificada del plan • Son apropiadas como herramienta de comunicación • Son fáciles de usar para el seguimiento • Permiten identificar claramente aquellas actividades que están fuera de la secuencia prevista • Son muy efectivas para la planificación de largo plazo, así como para los aspectos operativos de la planificación de mediano y corto plazo • Son ampliamente aceptadas y preferidas en la práctica	• No es un método preciso de planificación, especialmente para proyectos complejos • Son poco eficientes para proyectos con muchas actividades • Es muy fácil pasar a llevar la lógica del plan, por lo que pueden confundir a la administración, o entregarles un sentido de seguridad falso • Es muy difícil redibujar la carta cada vez que hay cambios mayores, lo que atenta contra su efectividad como herramienta para el seguimiento (el computador es una gran ayuda en este aspecto) • Las actividades críticas no son obvias en una carta de barras

3.2.2 Diagramas Lógicos (Análisis de Mallas)

Análisis de mallas es el nombre común que se le da a un grupo de técnicas gráficas de planificación, que muestran el proyecto como una malla de sus actividades, relacionadas entre ellas, destacando sus interrelaciones y la secuencia de ejecución. Dentro de estos métodos se encuentran el CPM (**C**ritical **P**ath **M**ethod) o método del camino crítico, el PDM (**P**recedence **D**iagramming **M**ethod) o método de diagrama de precedencia y el PERT (**P**rogram **E**valuation and **R**eview **T**echnique) o Técnica de Evaluación y Revisión del Programa.

Todos los métodos de mallas o redes usados para representar el ordenamiento de las actividades, se basan en la preparación de diagramas lógicos. Un diagrama lógico es una representación gráfica de un proyecto. Las actividades que componen un proyecto y las relaciones lógicas que existen entre ellas, son representadas por símbolos. Existen dos tipos básicos de diagramas lógicos:

(a) Diagramas Flecha-actividad: este tipo de diagrama se caracteriza por los siguientes aspectos generales: flechas representan actividades y nodos representan eventos (inicio de la actividad, fin de la actividad, hitos de control, etc.), como se ve en la figura 3.6.

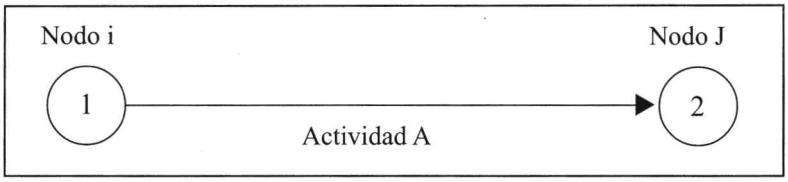


Figura 3.6 Representación Flecha – Actividad.

(b) Diagramas Nodo-actividad: esta representación sigue un esquema distinto, en que los nodos representan actividades y las flechas representan las relaciones de precedencia entre actividades tal como se muestra en la figura 3.7. A su vez, los eventos en este caso son representados por los lados verticales de cada nodo.

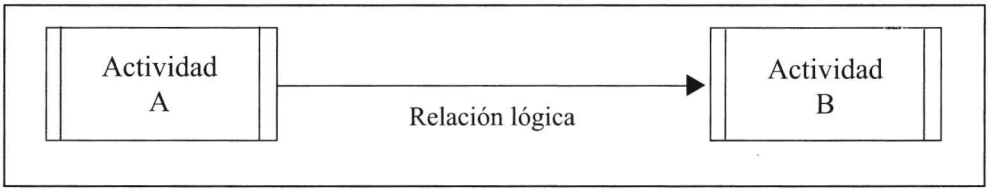


Figura 3.7 Representación Nodo – Actividad.

Una vez que el diagrama lógico (malla) ha sido preparado es necesario realizar el análisis de malla. Sin importar si el diagrama es flecha-actividad o nodo-actividad, la información de cada actividad y la relación entre éstas, es analizada para determinar el camino

crítico a través de la malla. Este camino o ruta puede ser determinado de nodo a nodo a través de las flechas. El camino más largo, medido en tiempo, que se puede trazar a lo largo de la malla (de principio a fin) se denomina camino crítico. Las actividades que se encuentran en la ruta crítica se denominan actividades críticas. Si una actividad crítica no se termina en el lapso de tiempo que se le asignó, retrasará la finalización del proyecto; en cambio una actividad no crítica, si se atrasa, no retrasará al proyecto mientras no se transforme en una actividad crítica (concepto de holguras de las actividades).

Existen tres tipos de relaciones lógicas entre dos actividades, las que se generan a partir del análisis de restricciones de secuencias mostrado en el capítulo anterior. Estas relaciones se definen como sigue:

- **Relación Precedente:** una actividad A es precedente de B, si al menos parte de A debe ser completada antes que la actividad B pueda comenzar.
- **Relación Descendiente:** si la actividad B es descendiente de A, entonces la actividad B no puede comenzar hasta que al menos parte de la actividad A se haya completado.
- **Relación Concurrente:** si una actividad X no es ni precedente, ni subsecuente de Y, entonces las actividades X e Y son actividades concurrentes. El hecho que dos actividades sean concurrentes, no significa que deban ser ejecutadas en forma simultánea. De hecho, la relación concurrente entre dos actividades representa la no existencia de una relación de precedencia entre ellas.

Todas las relaciones lógicas pueden ser mostradas dentro de un diagrama lógico, tal como se ve en la figura 3.8. Si existe una relación lógica entre dos actividades y esa relación no es mostrada en el diagrama, entonces el análisis de malla y el resultado de la programación no reflejará esa relación. Toda relación lógica entre actividades debe ser descrita dentro del diagrama, ya sea explícita o implícitamente.

- **Relación Explícita:** las relaciones que quedan representadas en un diagrama son las relaciones explícitas (gráficamente). En la figura 3.8 se puede ver por ejemplo que la actividad A precede a la actividad B y que la actividad B precede a la actividad C, como relaciones explícitas.

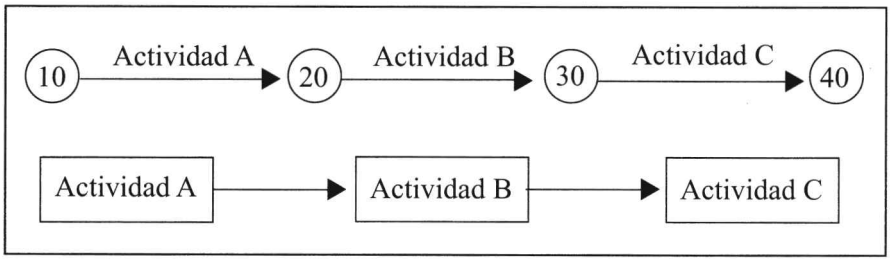


Figura 3.8 Representación de relaciones lógicas.

- **Relación Implícita:** Estas son las que si bien son incluidas en el diagrama, no se representan gráficamente por ser redundantes. En la figura 3.8, aunque no está indicado explícitamente, la actividad A es precedente de la actividad C (esta es una relación implícita).

En la representación de las actividades de un proyecto, solamente se deben representar aquellas que son explícitas, y evitar las relaciones redundantes.

Formato del Diagrama Flecha-Actividad
Las flechas deben, en lo posible, contener un segmento horizontal que sea lo suficientemente largo para permitir espacio para cualquier palabra o número que se deba colocar arriba o abajo de ellas. Hay que tratar, en lo posible, de evitar los cruces entre flechas. Los nodos se dibujan como círculos, de un tamaño suficiente para colocar el número identificador del evento en él. Todas las actividades son definidas por un par ordenado (i,j). No pueden existir dos actividades con el mismo par ordenado como identificador, por razones computacionales.

También, en ciertas situaciones, no se puede representar las relaciones entre dos actividades usando las flechas propias de las actividades. En este caso, las actividades ficticias, representadas por líneas punteadas, son usadas para este propósito. Un ejemplo de este formato se ve en la figura 3.9

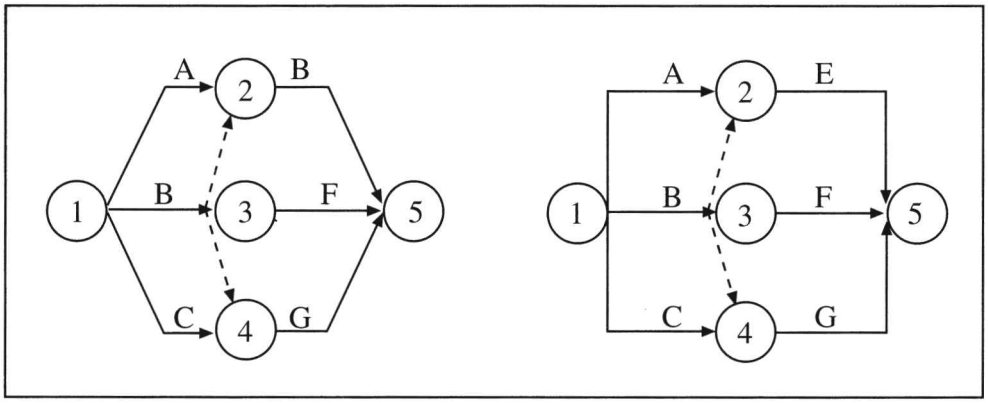


Figura 3.9 Formato de dibujo de los diagramas flecha – actividad.

Formato Diagrama Nodo-Actividad
Los nodos son rectángulos de un tamaño suficiente para incluir el nombre de la actividad. El lado izquierdo del rectángulo representa el inicio de la actividad, y el derecho su término (ver figura 3.10).

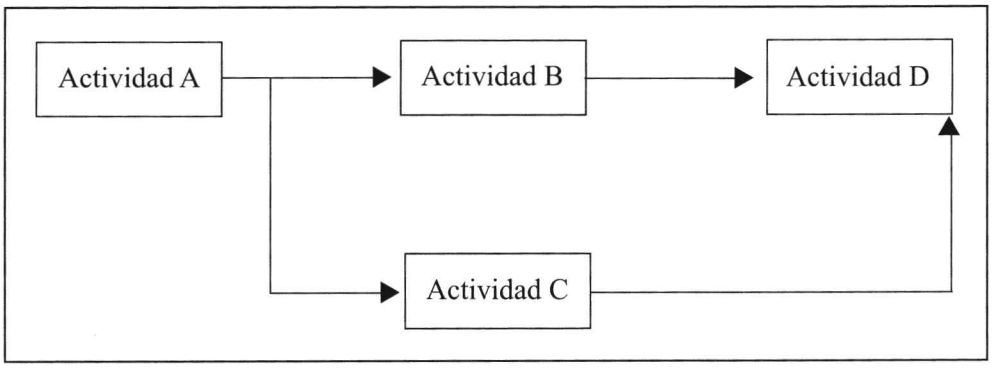


Figura 3.10 Formato de dibujo de los diagramas nodo – actividad.

Es importante en la forma de representación manual destacar si una flecha de relación se inicia o termina al lado izquierdo o derecho del rectángulo que representa una actividad porque esto determina el tipo de relación entre actividades. Los distintos casos de relaciones se pueden observar en la figura 3.11

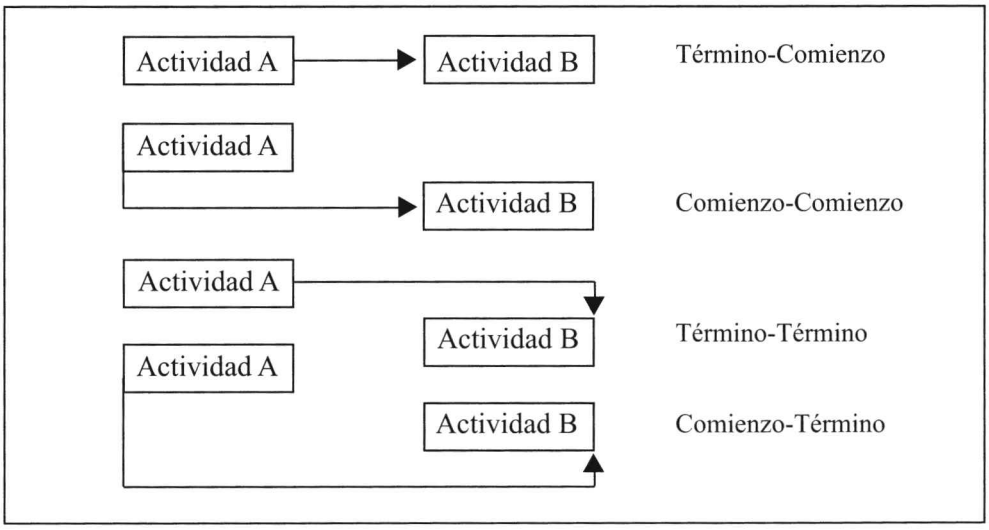


Figura 3.11 Tipos de relación entre actividades.

Desfases

El método nodo-actividad permite la inclusión de desfases en las relaciones entre actividades. Estos son esencialmente de cuatro tipos. Los desfases permiten representar de manera mucho más exacta situaciones típicas en la programación de proyectos. Por ejemplo, antes de hacer las terminaciones de un muro de hormigón, se

necesita que éste ya se haya endurecido, lo que implicaría un desfase de tiempo entre una actividad y la otra (hormigonado y terminaciones). Existen distintos tipos de desfases que se explican en la figura 3.12.

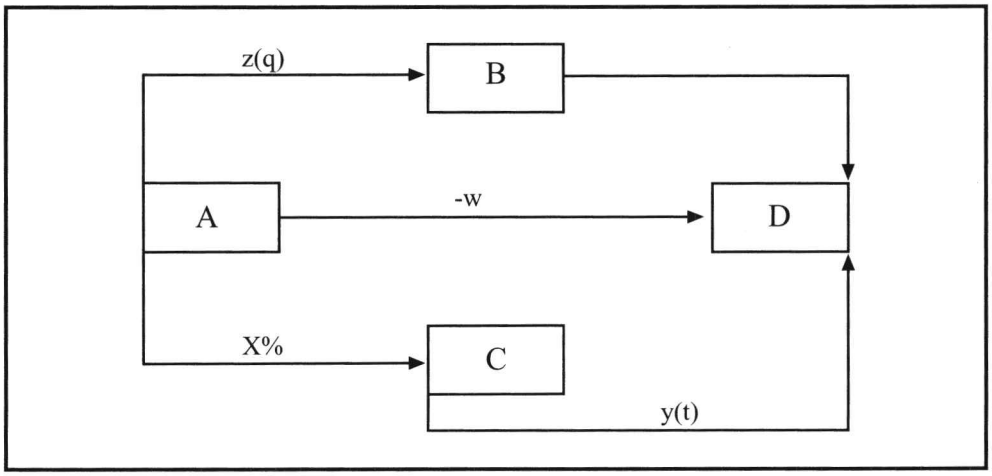


Figura 3.12 Tipos de desfases entre actividades.

- x% = desfase en función de % de duración de la actividad precedente,
- y(t) = desfase en términos de unidades de tiempo,
- z(q) = desfase en términos de unidades de obra,
- -w = desfase negativo.

Indicaciones Básicas para Dibujar Mallas

Existe una serie de pasos a seguir que facilitan el dibujo de las mallas y hacen que éstas sean entendibles por cualquier persona. Es muy conveniente seguirlos, y son:

1. Al construir una malla, se debe desarrollar la lógica de la misma paso a paso, contestando las siguientes preguntas para cada actividad:

   a) ¿Cuáles actividades preceden a esta actividad?

   b) ¿Cuáles actividades son descendientes de esta actividad?

   c) ¿Cuáles actividades pueden realizarse en forma concurrente con ésta? (En las mallas de precedencia deben considerarse además aquellas relaciones propias de dicho modelo).

2. El largo de las flechas no tiene ninguna importancia y sólo se debe cuidar la claridad de la malla en este aspecto.

3. Las actividades ficticias pueden ser usadas libremente, pero deben eliminarse todas aquellas que no sean realmente necesarias (flecha-actividad).

4. En lo posible se deben construir las flechas con al menos una porción de ellas horizontal de modo que las descripciones de las actividades y las duraciones se escriban en un plano horizontal, haciendo fácil su lectura posterior (flecha-actividad).

5. Es conveniente escribir la descripción de la actividad sobre la flecha y su duración debajo de la misma (flecha-actividad).

6. Para mejorar la claridad de la malla, evitar en lo posible, los cruces de flechas. Esto puede significar tener que reordenar ciertas porciones de la malla.

7. Siempre numerar los nodos una vez que la malla esté completa de modo de evitar el estar cambiando permanentemente la numeración durante la etapa de planeamiento (flecha-actividad).

8. En general, dibujar las flechas de izquierda a derecha. Esto ayuda enormemente en la mecánica de cálculo de la malla.

9. En todas las mallas debe haber siempre un solo acontecimiento de inicio y un solo acontecimiento de término.

10. Para evitar confusiones, no mezclar nunca diferentes métodos de representación.

11. Siempre se deben describir las actividades en la malla.

En general, no se recomienda usar símbolos. Esto, porque las mallas deben ser autosuficientes y entendibles por cualquier persona sin explicación alguna. Para esto existe una guía general en que se detallan convenciones especiales para mallas flecha-actividad (figura 3.13).

Convención	Correctamente Aplicada	Incorrectamente Aplicada
Evitar que se produzca que el número de la actividad sea consecutivo con los números de los nodos identificadores de la misma	1 —10→ 2 —20→ 3	1 —1→ 2 —2→ 3
La numeración de los nodos (ij) debe ser tal que i < j para todas las actividades del proyecto	2 —10→ 4 —20→ 6	3 —15→ 7 —25→ 5
Las flechas que representan a las actividades pueden ser dibujadas hacia la derecha, hacia arriba, hacia abajo, pero no hacia la izquierda	2 —10→ 4 —20→ 8; 4 —30→ 10	10 —10→ 20 —20→ 30; 30 —40→ 9
No deben existir actividades cuyos nodos sean los mismos. Para evitar eso se crean las actividades ficticias (con línea punteada)	10 —10→ 20; 10 —20→ 15; 15 - - - 20	10 —10→ 20; 10 —20→ 20
Siempre hay que evitar los cruces de las líneas, pero en el caso de que sea imposible evitarlo, éste debe estar debidamente señalado	10 → 20 → 30; 12 → 32; 14 → 34	10 → 20 → 30; 12 → 32; 14 → 34

Figura 3.13 Convenciones para dibujar mallas flecha-actividad.

Comparación de los Diagramas flecha-actividad y nodo-actividad

Cualquier grupo de relaciones lógicas puede ser representado con cualquiera de los dos métodos. Pero, como era de suponer, cada tipo de representación de los diagramas lógicos tiene ventajas y desventajas frente al otro método. Generalmente es mucho más fácil de aprender la técnica de flecha-actividad que la de nodo-actividad, porque la primera sólo representa relaciones lógicas simples, a diferencia de la segunda que tiene la posibilidad de incluir relaciones de mayor complejidad dentro de su representación.

Por otro lado, si es necesario el uso de relaciones complejas, indudablemente el método de nodo-actividad será el más adecuado para representar el diagrama lógico. Por estos motivos se enseñará primero a resolver diagramas de flecha-actividad (CPM), para luego entrar en los diagramas de nodo-actividad (método de precedencia).

3.2.3 Método del Camino Crítico (CPM)

Cualquier diagrama lógico es, en definitiva, la relación que existe entre las activida-

des de un proyecto. Al incluir dentro de un diagrama la duración de cada actividad (por estimación o experiencia en proyectos anteriores) es posible determinar la duración total del proyecto con ayuda del método del camino crítico (ver figura 3.14).

Este método (CPM) determina la duración del proyecto por medio de calcular el camino crítico del diagrama lógico que representa un proyecto. El camino crítico pasa a través de actividades que deben completarse de acuerdo a sus programas para poder completar el proyecto en la fecha programada. Estas actividades reciben el nombre de actividades críticas. El atraso de una actividad crítica produce el atraso de la fecha de término del proyecto. El atraso de una actividad no crítica no necesariamente atrasa el término programado del proyecto; depende de la magnitud del atraso (concepto de holgura).

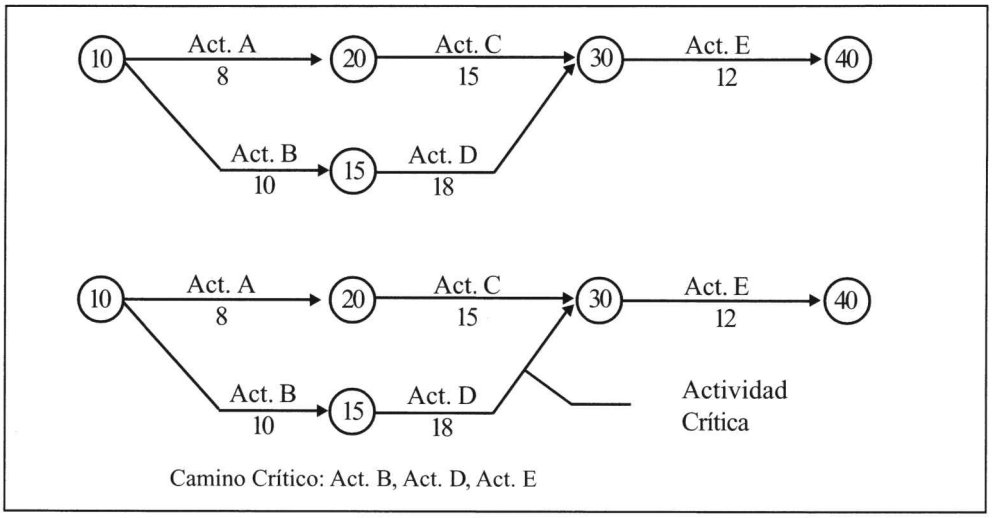


Figura 3.14 Diagramas de mallas y camino crítico.

Nomenclatura de Cálculo de Mallas CPM

Antes de mostrar el modo de calcular una malla CPM, es necesario describir la nomenclatura que se utilizará para estos efectos, tal como se indica en la figura 3.15.

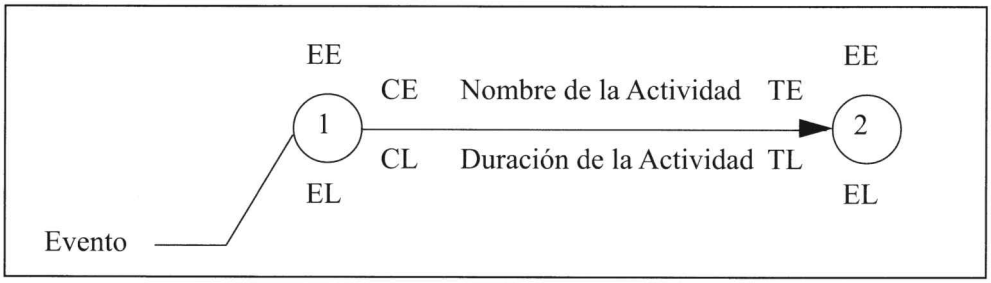


Figura 3.15 Nomenclatura del método CPM.

Fechas relacionadas con eventos:

EE: fecha más temprana de ocurrencia del evento,
EL: fecha más tardía de ocurrencia del evento.

Fechas relacionadas con actividades:

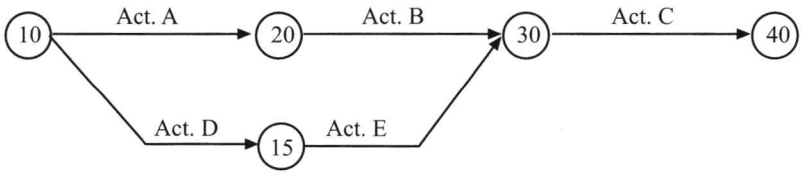
CE: comienzo más temprano de la actividad,
TE: término más temprano de la actividad,
CL: comienzo más tardío de la actividad,
TL: término más tardío de la actividad.

Cálculo de una malla CPM

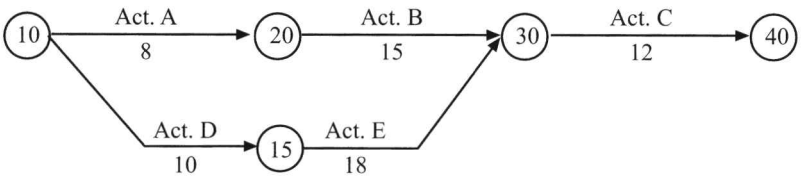
A continuación se desarrollará el método de resolución de una malla CPM. Finalizado el cálculo de la malla, se obtendrá la duración total del proyecto, el camino crítico y una lista de las actividades críticas. El análisis completo de la malla lo podemos dividir en tres etapas: la determinación de la malla, el cálculo de las fechas tempranas y por último el cálculo de las fechas tardías.

- **1ª ETAPA**

1. Habiendo determinado la relación existente entre las actividades se procede a dibujar la malla CPM.



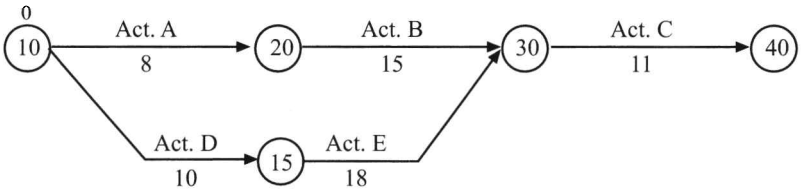
2. Una vez dibujada la malla es necesario calcular o estimar la duración de cada actividad de la malla.



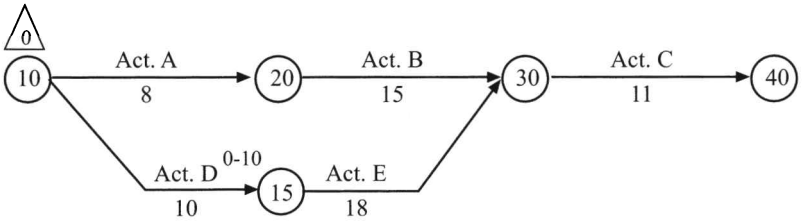
- **2ª ETAPA**

1. Con las actividades de la malla totalmente definidas (precedencias y duraciones),

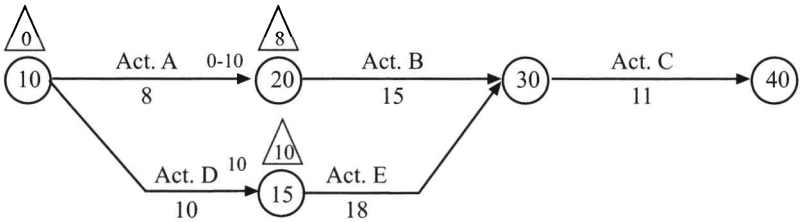
se puede iniciar el cálculo de la malla. Antes de terminar el análisis de la malla es necesario calcularla dos veces (de ida y de vuelta), y así obtener las *fechas tempranas* y las *fechas tardías* del proyecto. Para empezar colocamos el día cero sobre el nodo que representa el inicio del proyecto.



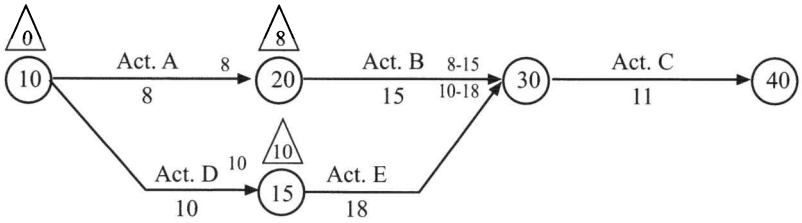
2. El número cero del nodo inicial lo encerramos en un triángulo (por convención), lo que indica que esa es la fecha temprana de ejecución de ese nodo (EE y CE de las actividades que nacen del inicio). Luego sumamos la duración de cada actividad que tenga al nodo 10 como inicio (act. A y act. D) y colocamos este valor en la parte superior de la flecha de la actividad correspondiente (TE de cada actividad).



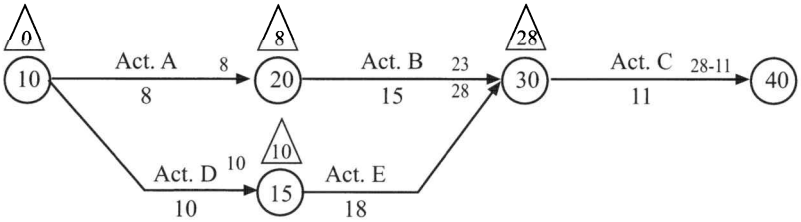
3. Si al nodo final de cada actividad llega sólo una actividad, el valor TE se coloca además en la parte superior del nodo como fecha temprana (dentro de un triángulo). Este número es a la vez fecha temprana de término de una actividad y fecha temprana de comienzo de la actividad subsecuente.



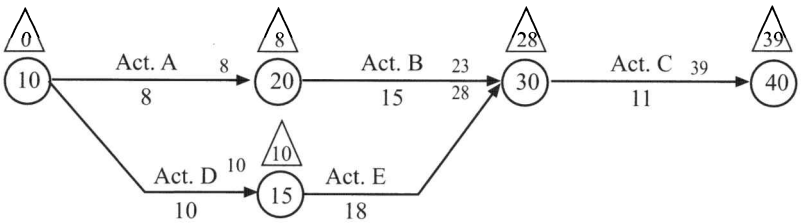
4. Se realiza de nuevo la suma entre las fechas tempranas de inicio (act. B y act. E en este caso) más la duración de la actividad respectiva.



5. Como las dos actividades terminan en un mismo nodo, la fecha temprana de término (TE) se determina colocando el mayor de los valores que lleguen al nodo (el mayor de los TE).

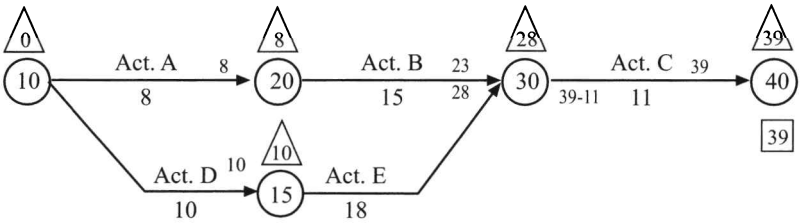


6. Para terminar el cálculo de las fechas tempranas se repiten de nuevo los pasos 4 y 5, ó 6 y 7, dependiendo si llega una o más actividades al nodo final. En este caso se repiten los pasos 4 y 5. Con esto se obtiene la fecha temprana de término del proyecto.

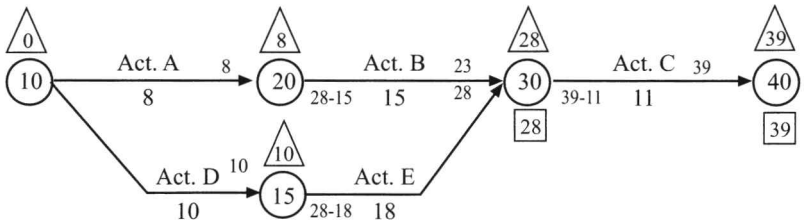


- **3ª ETAPA**

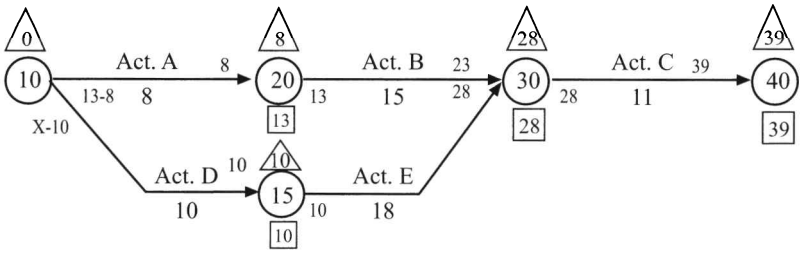
1. Para calcular las fechas tardías de una malla CPM se procede de manera muy similar al cálculo de las fechas tempranas, salvo algunas consideraciones. Primero la convención para las fechas tardías es que éstas van bajo el nodo encerradas en un cuadrado. Para empezar, la fecha temprana de término del proyecto es la misma que la fecha tardía de término, por lo tanto, se coloca el valor de la fecha de término bajo el último nodo. Luego empezamos a calcular la malla desde esta fecha hacia atrás (hacia el inicio). Para esto restamos la duración de la actividad a la fecha de término del proyecto.



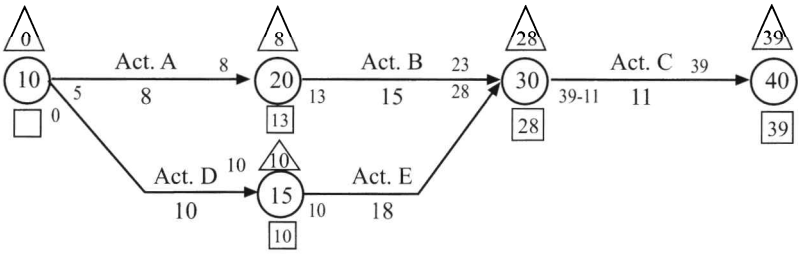
2. Luego como sólo una actividad llega al nodo de inicio de la actividad (nodo 30 en este caso), colocamos el valor de la resta como fecha más tardía de inicio de esa actividad. Para seguir restamos el valor de la fecha tardía del nodo 30 con la duración de las actividades para las que éste sea su nodo de término (act. B y act. E)



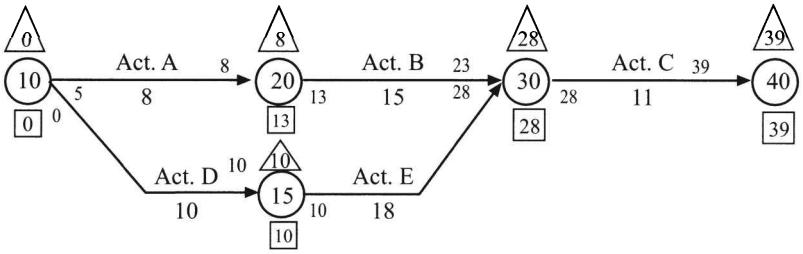
3. Como el nodo 15 y el nodo 20 son inicio de sólo una actividad, se procede igual que en punto 2. Luego las fechas tardías determinadas se restan con la duración de las actividades que siguen hacia el nodo de inicio.



4. Para determinar una fecha tardía cuando al nodo llega más de una actividad (el nodo 10 es inicio de la act. A y la act. D), se elige el menor de los valores que en este caso es 0.



5. Como último paso es necesario identificar el camino crítico y las actividades críticas. La manera de hacerlo es verificando las fechas tardías y las tempranas de cada nodo. Aquellos donde estas dos fechas son iguales son considerados eventos críticos. Las actividades críticas son todas aquellas que tengan sus dos nodos (inicio y término) como eventos críticos, y el camino crítico será el formado por las actividades críticas.



Holgura de las Actividades

Cada actividad en un proyecto debe ser completada dentro del período de tiempo comprendido entre su comienzo más temprano y su término más tardío, de modo que el proyecto termine en el plazo considerado. Cuando la duración programada de la actividad es menor que el período comprendido entre estas dos fechas, quiere decir que la actividad cuenta con un tiempo adicional disponible para su ejecución. Este tiempo se conoce como holgura. Existen dos tipos de holguras de interés:

Holgura total: es la cantidad de tiempo en que una actividad puede atrasar su inicio más temprano, su término más temprano o aumentar su duración, sin atrasar el término programado del proyecto.

$$HT = TL - CE - D$$

Holgura libre: es la cantidad de tiempo en que una actividad puede atrasar su inicio más temprano, su término más temprano o aumentar su duración, sin atrasar el inicio más temprano de sus actividades subsecuentes. Sólo existe cuando llega más de una actividad a un nodo.

$$HL = CE\ act.\ sub. - CE - D$$

La figura 3.16 muestra en forma gráfica el significado de las holguras, a través de una carta de barras.

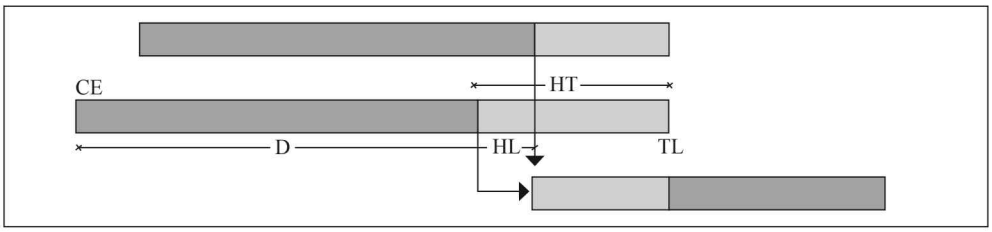


Figura 3.16 Diagrama de las holguras.

Cálculo de Holguras

Para comprender el concepto de holgura y la manera de calcularla, se desarrollará como ejercicio el ejemplo de la figura 3.17.

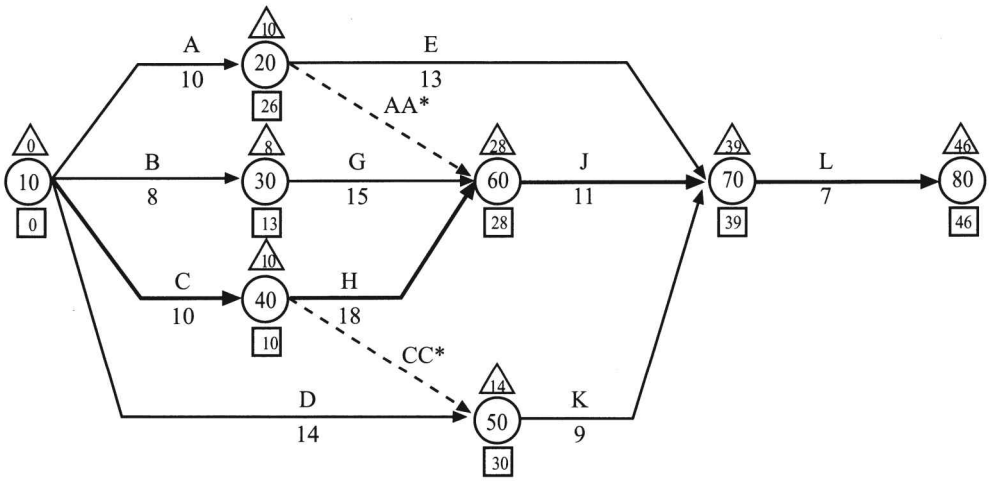


Figura 3.17 Ejercicio de cálculo de holguras en una malla CPM.

Tabla 1 Cálculo de holguras.

Actividad	Duración	CE	TE	CL	TL	HT	HL
A	10	0	10	16	26	16	-
AA*	0	10	10	28	28	18	18
B	8	0	8	5	13	5	-
C	10	0	10	0	10	0	-
CC*	0	10	10	30	30	20	4
D	14	0	14	16	30	16	0
E	13	10	23	26	39	16	16
G	15	8	23	13	28	5	5
H	18	10	28	10	28	0	0
J	11	28	39	28	39	0	0
K	9	14	23	30	39	16	16
L	7	39	46	39	46	0	-

3.2.4 Método de Diagrama de Precedencia (PDM)

Este método es ampliamente usado en la práctica, debido a que presenta ventajas importantes sobre el método CPM (hay que destacar que dado que este método también se basa en el concepto de camino crítico, por esta razón puede ser llamado CPM). Debido a los diferentes tipos de relaciones y a la incorporación de desfases, su representación de muchas situaciones reales, se facilita, en especial: actividades de carácter repetitivo, actividades que se traslapan entre sí y relaciones complejas.

Al igual que en cálculo de mallas CPM, en el desarrollo de una malla PDM existen convenciones que son necesarias para ser capaz de interpretar cualquier malla, no importando quien realizó su cálculo. Estas convenciones se explican en la figura 3.18

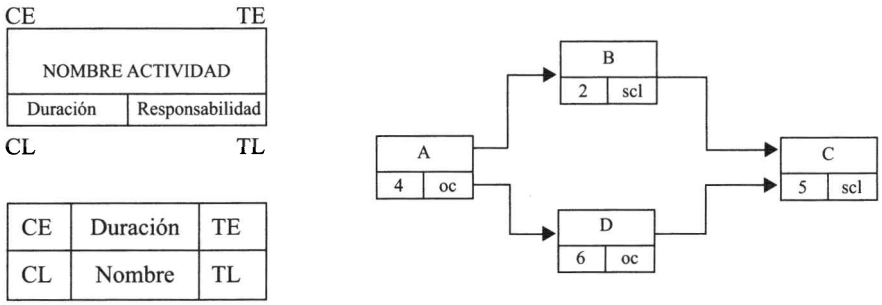


Figura 3.18 Nomenclatura del método PDM.

El método de cálculo de una malla PDM se basa, al igual que en el CPM, en el cálculo del camino crítico de la malla (los nodos del CPM son los lados de las cajas del PDM). Por esto, cuando entre actividades sólo existen relaciones simples (término-inicio y sin desfases), la malla se calcula exactamente igual como si fuera una CPM.

Al incluir en la estructura de la malla relaciones entre actividades de mayor complejidad, se producen pequeñas variaciones al cálculo normal. La principal diferencia ocurre cuando se incluyen desfases, los que para efectos de cálculos se consideran como si fueran una actividad más.

Se hace absolutamente necesario para el cálculo de mallas PDM, comprender de la mejor manera posible estos tipos de relaciones, por lo que en el punto siguiente se detallan algunas convenciones en la interpretación de éstas (sólo las más usuales), combinadas con diferentes tipos de desfases.

Existen principalmente cuatro tipos de relaciones lógicas entre actividades utilizadas para la determinación de una malla de precedencia (PDM). Éstas además se pueden presentar de tres maneras distintas: sin desfases, con desfases positivos y con desfases negativos. Para cada tipo de desfase daremos dos interpretaciones de la relación: una

condicional y otra imperativa. Lo único importante al tenerlas dentro de la malla es saber interpretar su significado de manera correcta.

También existen diversas métricas para los desfases: unidades de tiempo y unidades de tiempo «efectivamente trabajadas». Las relaciones que se discuten a continuación se refieren a desfases en unidades de tiempo; más adelante al definir las actividades discontinuas se introducirán los desfases en unidades de tiempo «efectivamente trabajadas».

Relaciones Término-Comienzo (TC)
Este es el tipo más frecuente de relación que se utiliza dentro de una malla PDM, el cual es mostrado en la figura 3.19

- Término-Comienzo sin desfase: Esta relación es la misma que se utiliza en las mallas CPM. Luego el cálculo de la malla se realiza de igual manera que un CPM en el caso que sólo exista este tipo de relaciones. Interpretación Condicional: el inicio de la actividad B no puede ocurrir hasta que la actividad A halla concluido. Interpretación Imperativa: la actividad A se debe terminar antes de poder comenzar a ejecutarse la actividad B.
- Término-Comienzo con desfase positivo: Existen actividades que no se pueden realizar inmediatamente después de haber finalizado su predecesora. Esto puede ser por distintos motivos tales como el traslado de alguna maquinaria, imposibilidades técnicas (Ej. tiempo de fraguado del hormigón), etc. Interpretación Condicional: el afinado de la losa no puede iniciarse hasta después de tres días de finalizado el hormigonado de ésta. Interpretación Imperativa: el hormigonado de la losa debe terminarse por lo menos tres días antes de que se pueda iniciar el afinado de ésta.
- Término-Comienzo con desfase negativo: La incorporación de desfases negativos se debe principalmente a que dentro del programa existen actividades que permiten su inicio antes de que la actividad precedente haya sido terminada. Interpretación Condicional: la instalación de la línea 2 de cañerías no puede iniciarse antes de dos días de que la línea 1 sea terminada. Interpretación Imperativa: la instalación de la línea uno debe terminarse dos días después de que la línea dos haya comenzado.

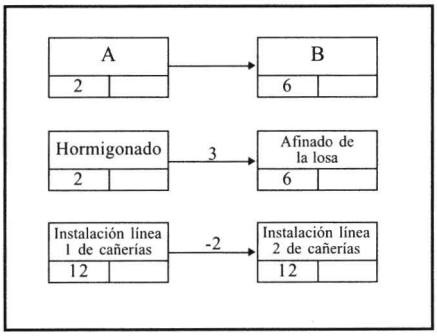


Figura 3.19 Relaciones término - comienzo.

Relaciones Comienzo-Comienzo (CC)
Este tipo de relación (figura 3.20) es muy común que se use en conjunto con relaciones término-término para representar situaciones en que las actividades involucradas son concurrentes o parcialmente concurrentes. Para su representación generalmente se prefiere colocar una actividad debajo de la otra (por simplicidad del dibujo). Además hay que tratar de que la flecha contenga algún segmento horizontal de modo de poder incluir la información de los desfases más claramente.

- Comienzo-Comienzo sin desfase: Este tipo de relación es típico de actividades que son concurrentes y que sus inicios son absolutamente dependientes. Interpretación Condicional: la actividad B no puede comenzar hasta que la actividad A halla comenzado. Interpretación Imperativa: la actividad A debe comenzar antes de que la actividad B comience.
- Comienzo-Comienzo con desfase positivo: Existen actividades que a pesar de ser absolutamente dependientes una de la otra, necesitan de un pequeño desfase entre ellas para evitar interferencias. Esto pasa, por ejemplo, en actividades como la enfierradura y el hormigonado. Interpretación Condicional: la instalación eléctrica en el muro no puede comenzar antes de un día después de que el muro halla empezado a construirse. Interpretación Imperativa: la construcción del muro debe empezar un día antes de que la instalación eléctrica comience.
- Comienzo-Comienzo con desfase negativo: Si las mismas actividades del punto anterior se relacionan al revés (si A era antes que B, ahora B es antes que A), ahora su desfase deberá ser negativo. Interpretación Condicional: la construcción del muro no puede iniciarse menos de un día antes de que la instalación eléctrica comience. Interpretación Imperativa: la instalación eléctrica debe comenzar no antes de un día después de que la construcción del muro haya empezado.

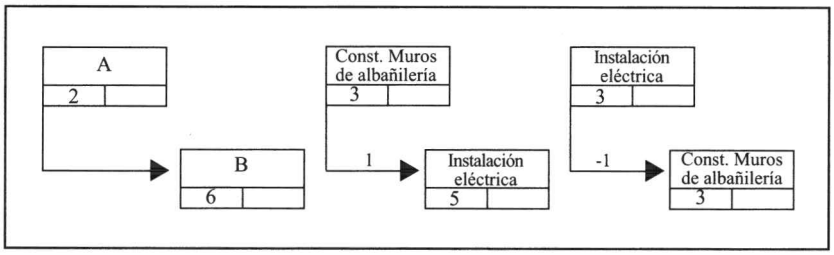


Figura 3.20 Relaciones comienzo - comienzo.

Relaciones Término-Término (TT)
Este tipo de relación (figura 3.21) se utiliza para el mismo tipo de dependencias que en las relaciones comienzo-comienzo.

- Término-Término sin desfase: Este tipo de relación puede darse cuando dos actividades tienen sus términos absolutamente dependientes. Esto puede darse,

por ejemplo, cuando las dos actividades utilizan para su ejecución alguna maquinaria que debe desplazarse en alguna fecha dada a otro lugar o a otra actividad. Interpretación Condicional: la actividad A no puede terminarse hasta que la actividad B halla concluido. Interpretación Imperativa: la actividad B debe terminar una vez que la actividad A haya terminado.

- Término-Término con desfase positivo: Dentro de la construcción es muy común encontrar actividades que para su realización necesitan de una actividad anterior, la que se realiza en forma lineal (actividades complementarias) como, por ejemplo, el montaje de los soportes necesarios para una instalación de cañerías aéreas (cañerías colgadas del techo). Por esto es posible comenzar la actividad siguiente cuando ya tengo suficiente *cancha* para trabajar. El largo de esta cancha dependerá principalmente de la velocidad de avance de las dos actividades involucradas, para evitar que una estorbe a la otra. Interpretación Condicional: la instalación de las cañerías puede terminar dos días después de que la colocación de los soportes halla terminado. Interpretación Imperativa: la instalación de los soportes no puede terminarse más allá de dos días antes de que la instalación de las cañerías sea terminada.
- Término-Término con desfase negativo: Este es el mismo caso anterior, pero cambiando el orden de las actividades en la programación.

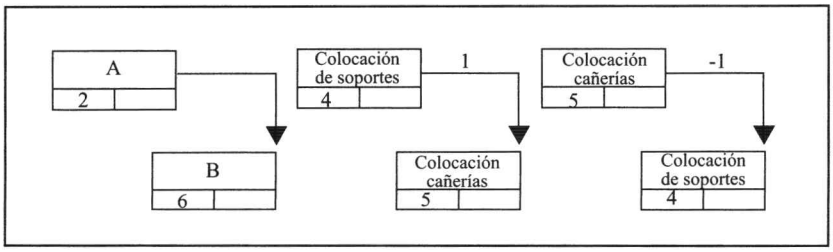


Figura 3.21 Relaciones término - término.

3.3 Relaciones Múltiples en Mallas

Para poder resolver las mallas que contienen relaciones múltiples (figura 3.22), existen dos maneras de hacerlo dependiendo de la condición inicial de análisis. Esta condición se refiere a la forma de ejecutar las actividades: continua o discontinuamente. Estas dos maneras de desarrollar las actividades nos llevan a dos tipos diferentes de análisis para las mallas PDM: con continuidad obligada y sin continuidad obligada.

En la realidad, dentro de un proyecto podrían existir los dos tipos de actividades señaladas al mismo tiempo, con lo que se dificultaría aún más el análisis de la malla del proyecto para poder determinar el camino crítico y las actividades que lo compo-

nen. El objetivo en esta sección es aprender a analizar por separado las mallas de estas características, desde los dos puntos de vista con relación a la continuidad de las actividades.

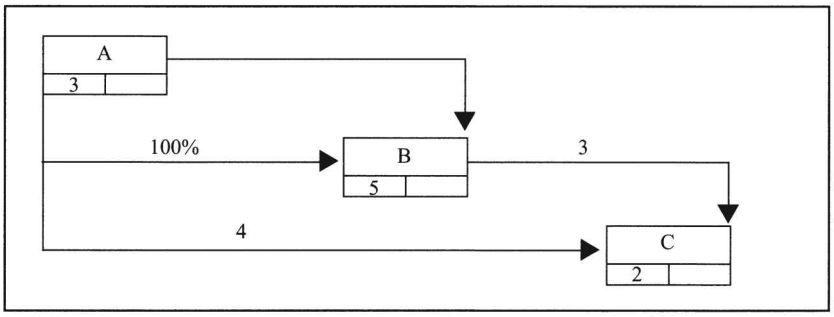


Figura 3.22 Malla con relaciones múltiples.

3.3.1 Actividades Continuas

Las actividades continuas son aquellas que desde el momento en que comenzaron, no puede detenerse su ejecución. Esto se debe a distintas razones, ya sea por características propias de la actividad, por criticidad de la misma, por alguna restricción especial de recursos (algún material que se degrade al estar almacenado, por ejemplo), etc.

El hecho de que alguna actividad se detenga por algún imprevisto (accidente, falta de algún recurso, mal tiempo, etc.), no se considera al momento de determinar si dentro de la programación esta actividad será continua o no.

El método de cálculo de las mallas que sólo contienen actividades continuas es el que se ha ido desarrollando a lo largo de este capítulo. La diferencia en el método de cálculo se produce cuando existen actividades discontinuas.

3.3.2 Actividades Discontinuas

Las actividades discontinuas son aquellas en las que se permite producir detenciones durante su ejecución. Para efectos de programación (sin continuidad obligada) estas actividades deben poder detenerse en cualquier momento de su avance (idealmente), sino, la solución más simple será dividir la actividad en dos subactividades de la duración que se estime conveniente.

La división de la actividad en dos etapas (por efecto de la discontinuidad) sólo se puede producir cuando la actividad tenga holgura. Así la actividad se desarrollará con un primer tramo, el que empieza en el CE de la actividad; un segundo tramo donde la actividad está detenida, el que es del largo de la holgura de la actividad y una última etapa, la cual será de la duración remanente de la actividad y termina en el TL de la misma. La inclusión de actividades discontinuas (sin continuidad obligada) da lugar a una variación en el cálculo normal de una malla PDM.

Finalmente, el método para calcular una malla PDM sin continuidad obligada con desfases en unidades de tiempo «efectivamente trabajadas» es básicamente el mismo que para el cálculo de una malla PDM con continuidad obligada. Sin embargo en este caso se utiliza el concepto de unidades de tiempo «efectivamente trabajadas», es decir, los desfases se miden de acuerdo al avance. Debido a esto, es necesario determinar el largo de los segmentos de trabajo en una actividad discontinua que tenga holgura.

Es necesario calcular la duración de dos segmentos distintos. Al primero (para las fechas tempranas) se le asigna el nombre de α y al segundo (corresponde a las fechas tardías) se le denomina ß. El largo del segmento α se mide desde el CE de la actividad hacia delante (en el tiempo), en cambio el de ß se mide desde el TL hacia atrás.

Para lograr entender de mejor manera el método en que se efectúa el cálculo se dará a continuación un ejemplo desarrollado paso a paso.

Ejemplo de aplicación: En la figura 3.23 se entrega una malla con desfases en unidades de tiempo *efectivamente trabajadas* y con posibilidad de desarrollar sus actividades de manera discontinua.

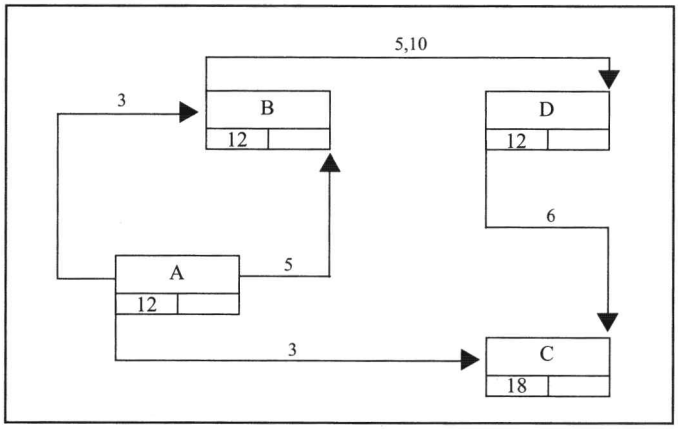
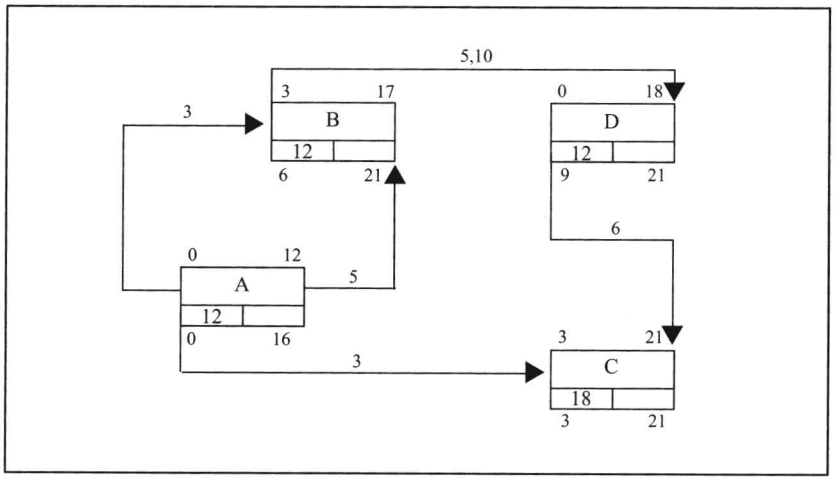
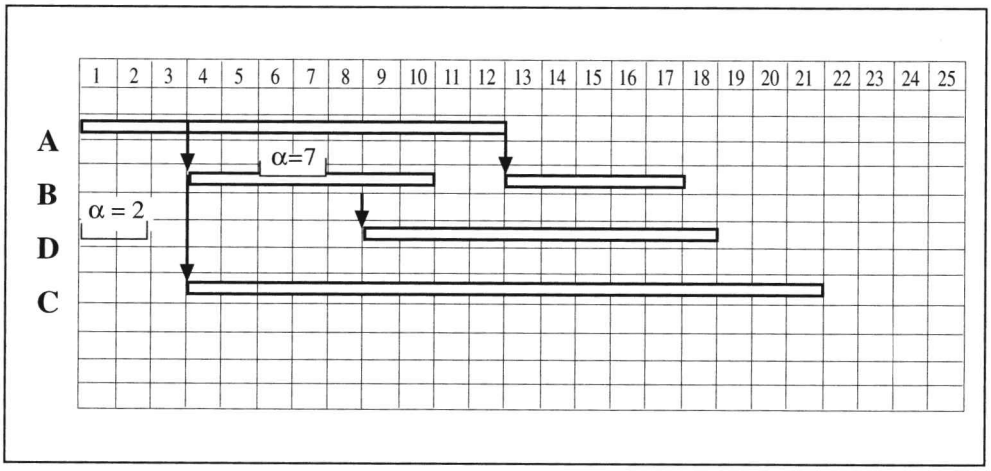


Figura 3.23

1. El primer paso es calcular la malla como usualmente se realiza teniendo cuidado de considerar correctamente los desfases que se señalan. El desfase entre la actividad B y D se interpreta como: «después del quinto día de la actividad B se pueden realizar los últimos diez días de la actividad D». El resto de los desfases que restringen el término de una actividad son en unidades de tiempo trabajadas, o sea se interpreta como: «después del término de *X* se puede desarrollar los últimos ***n*** días de la actividad *Y*».



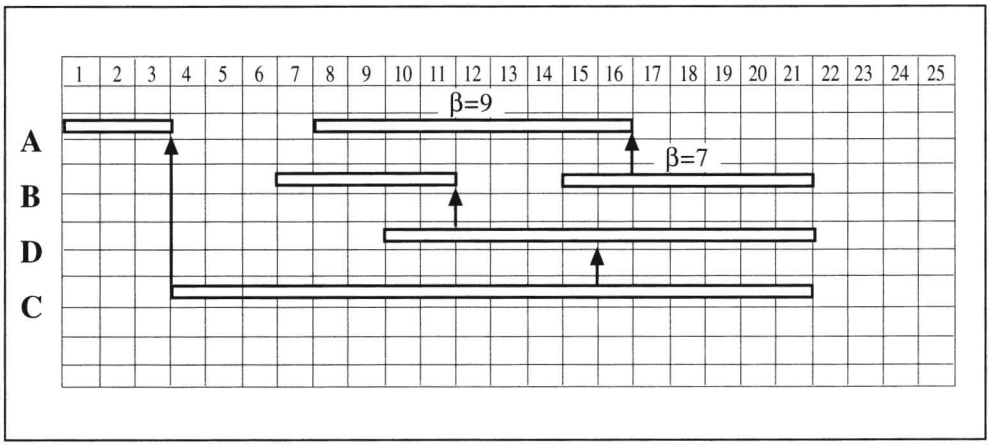
2. A continuación, se dibuja una carta Gantt y con ella se van determinando el largo de los segmentos a y b. La primera que se dibuja, como siempre, es la de las fechas más tempranas.



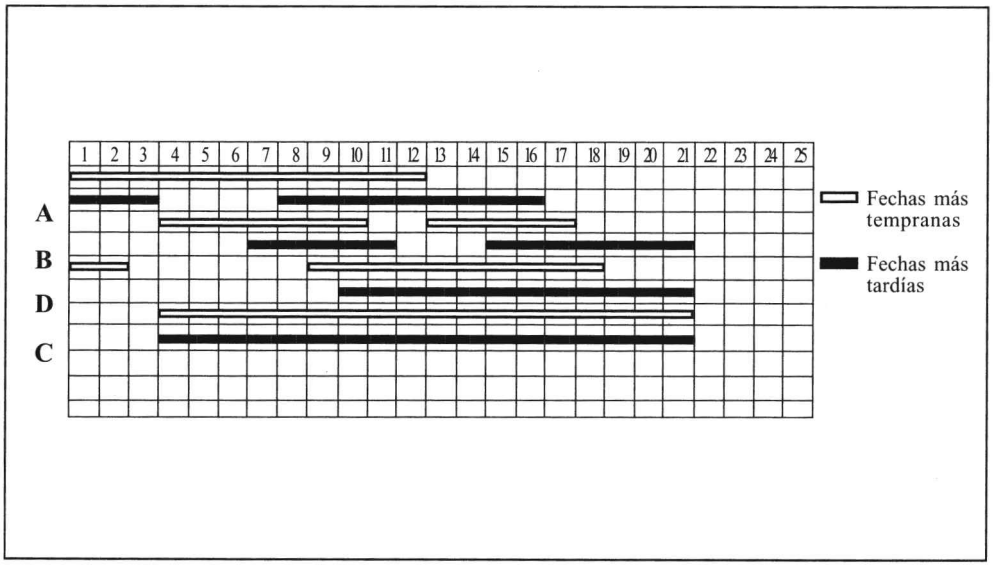
- En primer lugar se dibuja la actividad A, la que tiene el CE = 0 y TE = 12.
- Luego para dibujar B se interpretan los desfases de la siguiente manera:
  - Tienen que haber transcurrido los primeros 3 días de A para poder empezar B.
  - Después de que termine la actividad A se puede dar inicio a los últimos cinco días de B.

- Para la actividad D se procede de la misma manera:
  - No existen restricciones para el inicio de la actividad, por lo que comienza el día cero.
  - Tiene que haberse terminado los 5 primeros días de la actividad B para poder dar inicio a los últimos 10 días de la actividad D.
- En la actividad C es más simple:
  - Tienen que haberse terminado los 3 primeros días de la actividad A para que pueda comenzar la actividad C.
  - Tienen que llevarse ejecutados 6 días de la actividad D para que pueda terminar la actividad C; pero como el término es posterior al 6° día de la actividad D, el desfase no es restrictivo.
- Con esto queda determinado el segmento α de cada actividad (cuando exista).

3. Ahora se procede de la misma manera para dibujar la carta gantt con las fechas más tardías y así determinar los segmentos ß (no olvidarse que así se le denomina al 2° segmento cuando existen actividades discontinuas). Nos preocupamos de partir de atrás para adelante.



4. A manera ilustrativa colocamos dentro de una misma carta Gantt las fechas más tempranas y las fechas más tardías.



3.4 Fechas Programadas

Son fechas de importancia que se dejan representadas en forma explícita en la malla. Estas fechas imponen restricciones para el cálculo de la malla (CPM o PDM). Los tipos de fechas programadas que se pueden utilizar son los que se muestran en la figura 3.24.

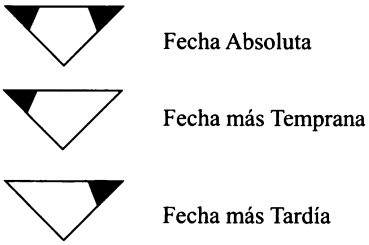


Figura 3.24 Notación para fechas programadas.

Estas restricciones tienen prioridad sobre las fechas que resultan del cálculo normal de las fechas de la malla y se usan para destacar eventos críticos para la ejecución del proyecto.

3.5 Resumen

Este tercer capítulo trata principalmente de los métodos de planificación existentes que son aplicables al sector de la construcción. Entre ellos están la carta Gantt, los Diagramas Lógicos (mallas), el Método del Camino Crítico y el Método de Diagrama de Precedencia. Cada uno de estos métodos tiene ventajas y desventajas y es necesario conocerlos y saber manejarlos bien para poder decidir en forma óptima respecto a su selección y utilización. Finalmente se vieron las Relaciones Múltiples y las Fechas Programadas de una malla, aspectos importantes para el buen manejo de estas.

3.6 Ejercicios

Conceptos

1. ¿Qué entiende usted por programación?

2. ¿Cuáles son las principales ventajas y desventajas de una carta Gantt como método de representación de un plan?

3. Se dice que existe una red si se tiene: (1) Un conjunto X, y (2) Una aplicación de X sobre sí mismo. Indique cómo se aplican estos conceptos en el caso de la malla de un proyecto, señalando las correspondencias entre elementos.

4. Indique qué se entiende por camino crítico de un programa de construcción, ¿Cuál es la holgura total de las actividades pertenecientes al camino crítico?

5. Responda:
   –¿Qué se entiende por Holgura Total?
   –¿Qué se entiende por Holgura Libre?
   Si una actividad que posee holgura libre, aumenta su duración en una cantidad de tiempo igual a su holgura libre, ¿ se transforma en actividad crítica? Explique y fundamente su respuesta.

6. En una actividad se tiene, Holgura Total > Holgura Libre. Si esta actividad atrasa su término más temprano en t = holgura libre, ¿hace críticas a sus actividades subsecuentes?

7. Desde el punto de vista de la gestión de un proyecto y asumiendo que Ud. está a cargo de dicha función, ¿qué importancia tiene el conocimiento de la holgura y la criticidad de las actividades de un proyecto? Explique

8. Defina los siguientes conceptos:
   a) Holgura libre.
   b) Holgura total.

c) Camino crítico.
d) Actividad ficticia.
e) Desfase.

9. ¿Qué significado tiene un desfase de comienzo-comienzo entre dos actividades? ¿Qué significado tiene uno de término-término?

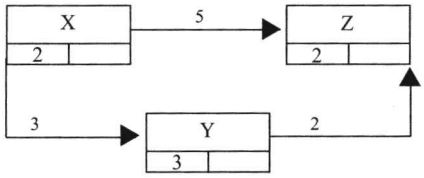
Problemas

1. Ud. cuenta con los siguientes antecedentes sobre las actividades de un proyecto de construcción de un edificio de albañilería de bloques de hormigón. Construya la carta Gantt correspondiente a este proyecto.

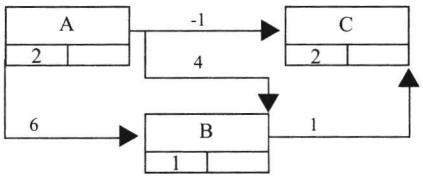
Actividad	Restricciones	Duración
A. Topografía	Ninguna	2
B. Limpieza y nivelación de terreno	Comienza después que termine A	4
C. Construcción de fundaciones	Comienza después que termine B	5
D. Hormigonado de radier	Comienza después que termine C	5
E. Construcción de muros	Comienza después que termine C	8
F. Colocación de marcos ventanas y puertas	Concurrente con E	3
G. Colocación de envigado de techo	Comienza después que termine E	5
H. Colocación de entablado de techo	Comienza después que termine G	3
I. Colocación de cubierta	Comienza después que termine H	3
J. Instalación de ventanas y puertas	Comienza después que termine E, F, I	2
K. Pintura exterior	Comienza después que termine I	2
L. Instalación de sistema eléctrico	Comienza después que termine I	3
M. Pavimentación de accesos	Comienza después que termine H	6
N. Construcción de jardines y otros	Comienza después que termine M	4

2. Represente, utilizando una carta Gantt, las siguientes situaciones de precedencia, destacando claramente todos los parámetros (asuma continuidad obligada).

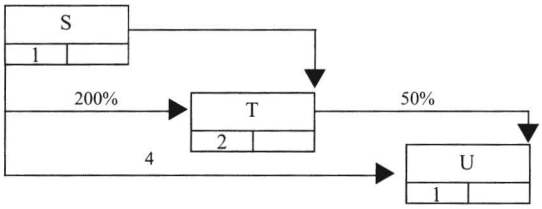
a)



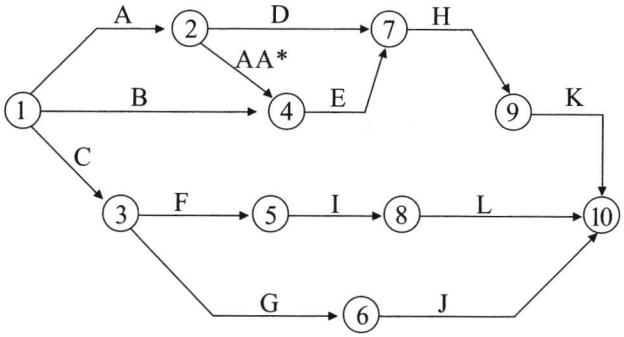
b)



c)

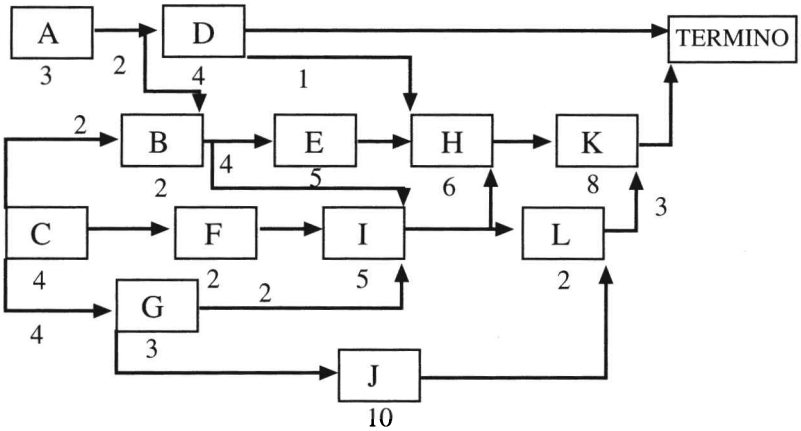


3. Compute la malla de la figura y determine la duración del proyecto, el camino crítico y complete un cronograma que incluya las duraciones, holgura total y holgura libre para cada actividad.



Actividad	Duración
A	3
B	5
C	4
D	3
E	4
F	3
G	7
H	6
I	5
J	8
K	2
L	4

4. Tras analizar la malla anterior, ésta se modificó introduciendo nuevas relaciones, para lo cual fue necesario utilizar el método de precedencia modificado. Compute la nueva malla a continuación, determinando la duración y el camino crítico para el caso de continuidad no obligada.



5. Dibuje la malla flecha actividad del siguiente proyecto:

A < F, E	B <C, D	C < D
D < Ø	E < Ø	F < E
G < Ø		

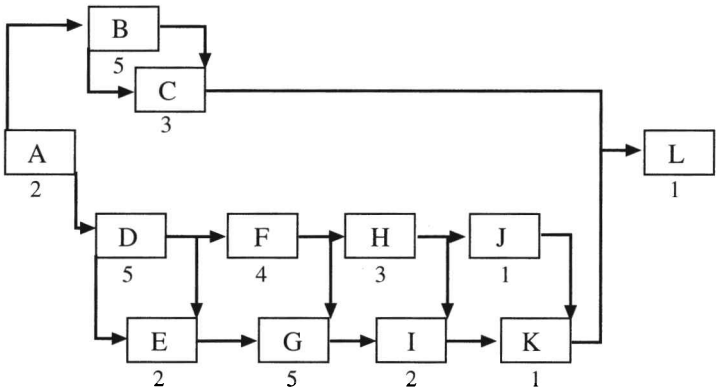
Dadas las siguientes duraciones y sabiendo que hay restricciones de recursos y problemas de supervisión, ¿Qué actividades tendrían mayores posibilidades de atrasar el proyecto? ¿Por qué?

ACT	DURACIÓN
A	4
B	3
C	2
D	4
E	4
F	1
G	6

6. Dibuje la carta Gantt de la malla que se presenta a continuación (usando solamente fechas tempranas), suponiendo continuidad obligada de las actividades, y tomando en consideración las restricciones que se entregan:

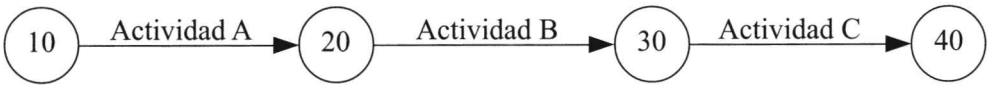
RESTRICCIONES:

- Actividad A no puede comenzar antes del día 4.
- Actividad C no puede comenzar antes del día 3.
- Actividad H no puede terminar antes del día 19.
- El plazo dado para el proyecto es de 27 días.



Calcule el cronograma de la malla anterior, pero en base a un cálculo suponiendo actividades discontinuas.

7. La malla de la figura representa el plan de ejecución de un proyecto que se repite varias veces. Grafique la malla flecha-actividad completa para la ejecución de 3 unidades, considerando que cada actividad es realizada por una cuadrilla especializada (no se pueden intercambiar entre actividades) y cuidando de no introducir relaciones falsas.



8. Las etapas de la planificación son las siguientes (en cualquier orden): implantación, planeamiento, control, programación, análisis y definición, actualización, seguimiento, evaluación y optimización. Dibuje un diagrama flecha - actividad de la secuencia correcta de estas actividades y descríbalas brevemente indicando el objetivo central de cada una de ellas.

9. Usando la siguiente lista de actividades, dibuje una malla flecha - actividad, minimizando el uso de actividades ficticias:

Actividad	Sucesores	Actividad	Sucesores
A	B, F, H	H	J, K
B	C, D	I	K, N
C	E	J	K
D	L, N	K	M
E	L	L	N
F	G, I, K	M	N
G	L	N	Ø

10. Dibuje la malla flecha actividad correspondiente a las siguientes relaciones de secuencia:

A< C, D, E, F	E < I, J	I < Ø
B< F, G	F < I, J	J < Ø
C< I, J	G < H	K < H, J
D< E, I	H < J	L < F

11. La siguiente malla representa el plan de ejecución de un proyecto. Las duraciones están expresadas en días.

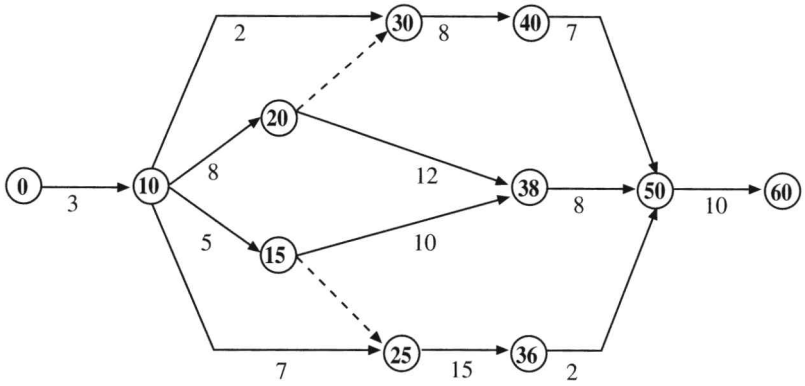
a) Compute la malla determinando la duración del proyecto, el camino crítico y el cronograma completo de las actividades.

b) Se hace un control de avance al término del día 15 y se obtiene la siguiente información:
   Las actividades (0,10), (10,20), (10,15), (10,30) están terminadas
   A la actividad (15,38) le queda una duración remanente de 5 días.
   A la actividad (25,36) le quedan 10 días para terminar.

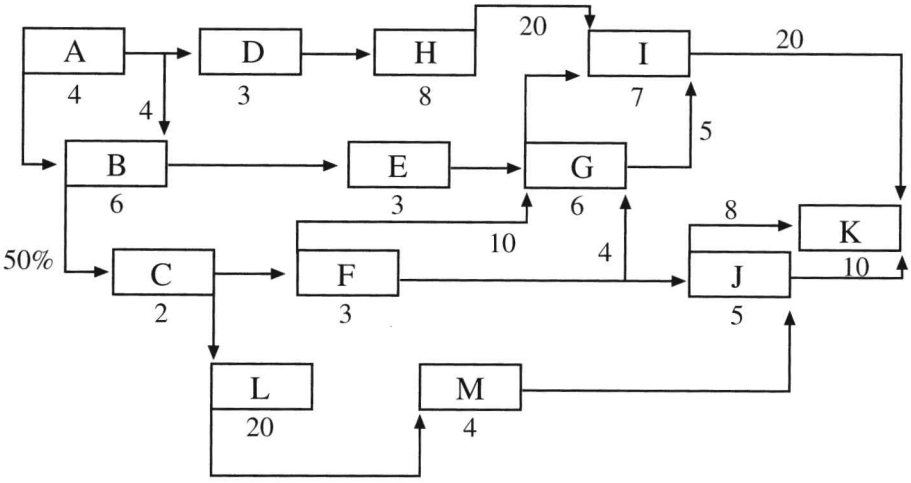
A la actividad (30,40) se le redeterminó su duración quedando en 4 días y no ha sido ejecutada.
Todas las otras actividades no han comenzado.

b1) Determinar la nueva duración total del proyecto, indicando el camino crítico actual.

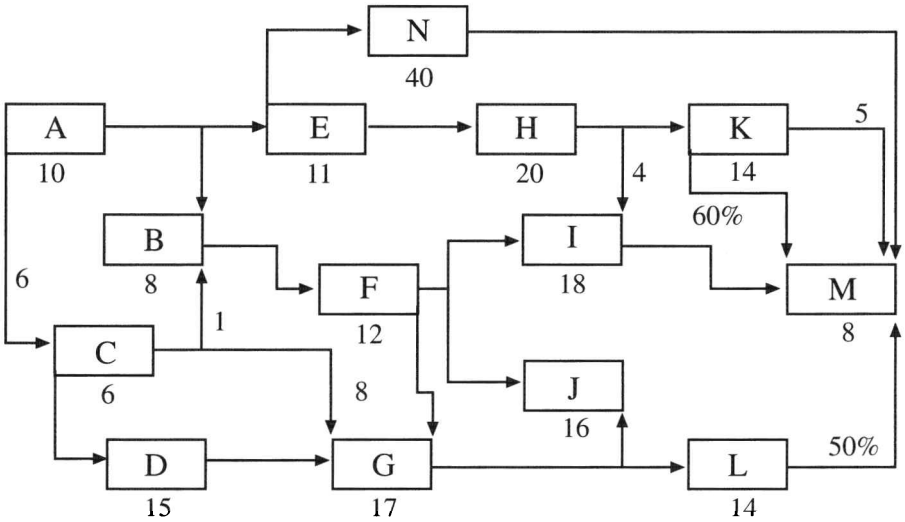
b2) Dibuje la carta Gantt del proyecto remanente, indicando la holgura de las actividades cuando corresponda (barra llena para la actividad, barra vacía para indicar su holgura total).



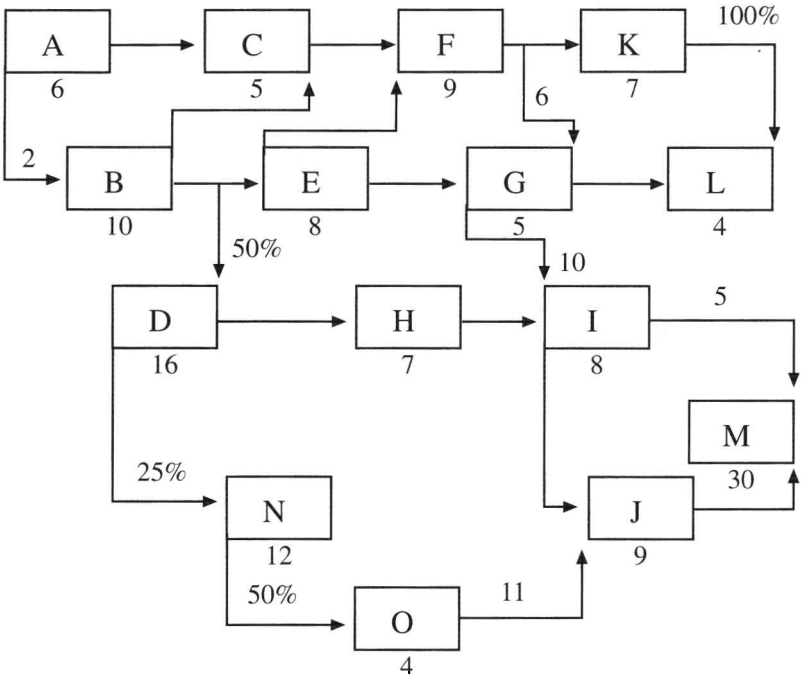
12. Calcule la malla de precedencia que se muestra a continuación indicando el camino crítico resultante.



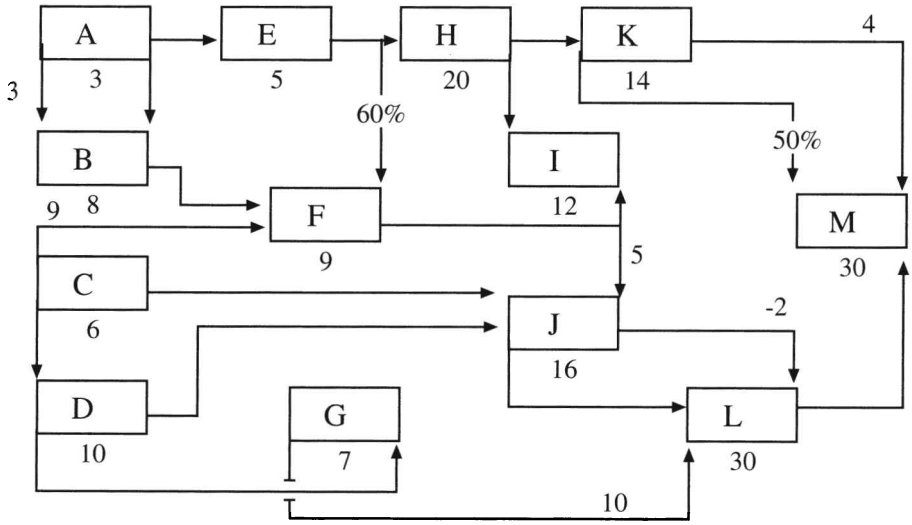
13. Calcular la siguiente malla, asumiendo continuidad no obligada, e indicando el camino crítico resultante.



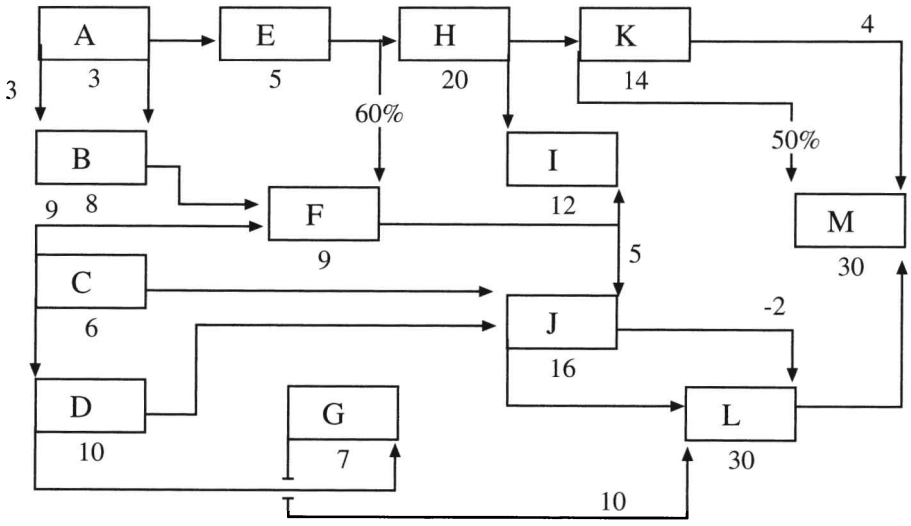
14. Calcule la siguiente malla de precedencia que se entrega a continuación, asumiendo continuidad no obligada de las actividades. Confeccione el cronograma correspondiente a su cómputo e indique el camino crítico en la malla.



15. Calcule la malla de precedencia que se muestra a continuación, para el caso de continuidad no obligada, indicando el camino crítico resultante.



16. Calcule la malla de precedencia que se muestra a continuación, para el caso de continuidad obligada, indicando el camino crítico resultante.



IV.
MANEJO DE LA INCERTIDUMBRE Y EL RIESGO EN LA PLANIFICACIÓN

4.1 Métodos Probabilísticos

Existen proyectos que por sus características presentan un alto grado de incertidumbre. En estos casos, el análisis y manejo de los riesgos debe hacerse en forma explícita en la programación. El uso de las técnicas de programación tradicionales tales como el método del camino crítico (CPM) o el método de precedencia (PDM), no considera en forma explícita los riesgos asociados a las duraciones estimadas para cada actividad, las que se asumen como ciertas. Este enfoque, que parece ser apropiado para los proyectos tradicionales, no sería aplicable en situaciones en que existe una gran incertidumbre con relación a las duraciones de las diferentes actividades, lo que ocurre, por ejemplo, en proyectos de gran envergadura (mega-proyectos), proyectos con tecnología avanzada, proyectos de investigación, proyectos de extrema complejidad, o proyectos en entornos complejos o inestables.

En estas situaciones, el uso de métodos probabilísticos puede ser lo más conveniente para la evaluación de las duraciones y la programación de un proyecto. El enfoque probabilístico permite una mejor comprensión de la exposición global del programa de un proyecto, y obliga a un análisis de actividades potencialmente críticas que, de otra forma, no serían consideradas importantes. La premisa central de los métodos probabilísticos es que la duración de una actividad puede ser representada en mejor forma por un rango de valores, que por un valor único y constante. Asociada a este rango, se establece una distribución de probabilidades apropiada. De este modo se permite una administración más realista del proyecto.

Entre los principales métodos probabilísticos se encuentran el PERT (Program Evaluation Review Technique), GERT (Graphical Evaluation Review Technique) y el método de Simulación. Los objetivos principales de estos métodos son:

- Identificar las actividades de un programa que representan los mayores riesgos.
- Identificar el impacto en el largo plazo de estas actividades.
- Determinar la naturaleza de la influencia en el programa de varias actividades.
- Determinar métodos para mitigar la exposición del programa a estos riesgos.

4.2 Método PERT

El método PERT es apropiado para proyectos cuyas actividades están sujetas a una considerable posibilidad de variación, es decir, existe una alta incertidumbre respecto a las duraciones individuales de las actividades y la duración global del proyecto. Esta incertidumbre podría ser modelada por medio de un gráfico que relacione la experiencia disponible en la ejecución de la actividad, medida por la frecuencia de la ocurrencia de una duración determinada, con dicha duración. Así es posible obtener una distribución de la duración de una actividad particular, tal como se muestra en la figura 4.1. A partir de esta distribución, se podría ajustar una distribución de probabilidades continua.

En la práctica, normalmente no se cuenta con información suficiente para identificar apropiadamente la distribución de probabilidades de la duración de actividades de construcción. Por ello, como se verá más adelante, se usan aproximaciones teóricas para dicho efecto.

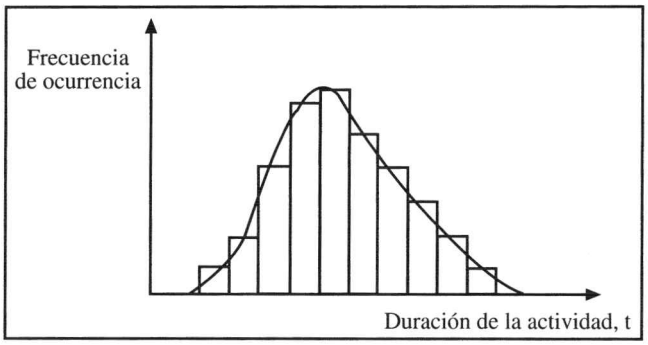


Figura 4.1 Representación Gráfica de una distribución de probabilidad de ocurrencia de la duración de una actividad.

Para comprender esto es necesario recordar ciertos conceptos de probabilidad, correspondientes a la caracterización de una distribución empírica:

- Media aritmética: es una medida de la tendencia central de una distribución.

$$\bar{t} = (t_1 + t_2 + ...+ t_n) / n$$

- Desviación estándar: medida de la variabilidad de la distribución.

$$s_t = \{[(t_1 - \bar{t})^2 + (t_2 - \bar{t})^2 + ...+ (t_n - \bar{t})^2] /n\}^{1/2}$$

- Varianza

$$V_t = (s_t)^2$$

Este método comparte muchas similitudes con el método del camino crítico, y en menor grado, con el método de precedencia ya que, al igual que estos dos métodos, el sistema PERT se basa en el análisis de diagramas lógicos de mallas. El sistema PERT reconoce la estimación probabilística de las duraciones de las actividades, incorporando tres duraciones para cada actividad. Estas duraciones son conocidas como: duración optimista, duración pesimista y duración más probable.

La duración optimista (t_o) es aquella que tendría una actividad si ésta fuera ejecutada en condiciones muy favorables. Si observamos el gráfico de la figura 4.2, la duración optimista corresponde a aquella duración que sólo podría ser mejorada una de cada veinte veces si la actividad pudiera realizarse en forma repetida bajo las mismas condiciones.

La duración pesimista (t_p) es aquella que tendría una actividad si fuera ejecutada en condiciones muy desfavorables. En el gráfico de la figura 4.2, esta duración corresponde a aquella que sólo podría ser excedida una de cada veinte veces si la actividad pudiera realizarse en forma repetida bajo las mismas condiciones.

La duración más probable (t_m), tal como su nombre lo indica, es aquella que se espera que la actividad tenga en condiciones normales y con recursos normales, y corresponde a la duración que tiene la mayor probabilidad de lograrse (la moda).

A mayor incertidumbre, mayor es el rango de variación entre la duración optimista y la pesimista (t_p - t_o).

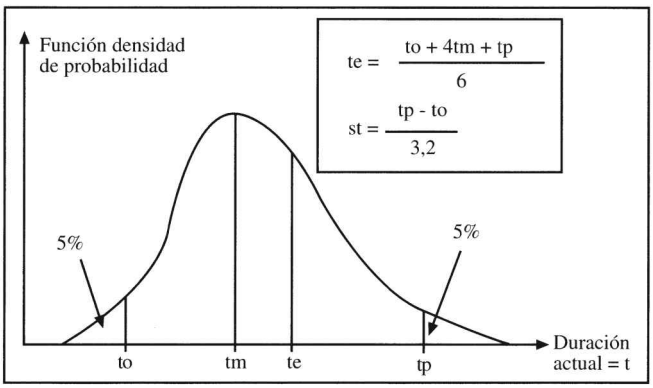


Figura 4.2 Estimaciones del método PERT.

PERT asume que las duraciones pesimista y optimista están separadas por seis desviaciones estándar (aproximación basada en que casi todas las distribuciones unimodales se encuentran contenidas dentro del rango ± 3 desviaciones estándar de la media) y además, supone que las estimaciones extremas (optimista y pesimista) pueden ser mejoradas o excedidas, respectivamente, en un 5% de los casos. Sin embargo, en estudios realizados sobre el comportamiento de las estimaciones del método PERT, se ha demostrado que el rango anterior para el cálculo de la desviación estándar introduce sesgos significativos en los resultados, concluyéndose que un estimador más apropiado es considerar que el rango entre la duración pesimista y la optimista es igual a 3,2 desviaciones estándar. Con estas consideraciones se define la desviación estándar como:

$$s = \frac{tp - to}{3{,}2} \qquad \text{Ec. 4.1}$$

por lo que la varianza está dada por:

$$V = \left(\frac{tp - to}{3{,}2}\right)^2 \qquad \text{Ec. 4.2}$$

El valor 3,2 aparece del hecho de que se ha demostrado que la diferencia (t_p -t_o) varía entre 3,1 y 3,3 (promedio de 3,2) desviaciones estándar para una gran variedad de distribuciones tipo desde la distribución normal hasta la exponencial, incluyendo las distribuciones rectangular, triangular y la distribución Beta.

El estimador usado por PERT para la duración esperada de la actividad está dado por un promedio esperado:

$$te = \frac{tp + 4 \cdot tm + to}{6} \qquad \text{Ec. 4.3}$$

Las ponderaciones anteriores están basadas en una aproximación de la distribución de probabilidades conocida como Beta. Su elección es arbitraria, y no está basada en datos empíricos. Las razón para su elección fue que es una distribución unimodal, no necesariamente simétrica y cuyos extremos son finitos y no negativos.

Para obtener valores confiables en las estimaciones de t_o, t_p y t_m es necesario cumplir con ciertas condiciones tales como: satisfacer la suposición de independencia entre actividades; las estimaciones no deben ser influenciadas por el tiempo disponible para completar el proyecto; se debe tener claro que t_o, t_p y t_m son estimaciones y por lo tanto no deben considerarse como compromisos de programación; no se deben incluir contingencias por eventos altamente improbables (incendios, inundaciones, terremotos, etc.), pero sí deben incluirse contingencias por eventos previsibles (clima).

Los pasos a seguir para desarrollar una malla bajo el método PERT se pueden resumir en los siguientes cuatro:

1. Calcular s y t_e para cada una de las actividades usando las ecuaciones 4.1 y 4.3.

2. Determinar el camino crítico en la malla. El camino crítico es el camino más largo en la malla, basado en las duraciones esperadas (t_e) de las actividades.

3. Calcular la duración esperada del proyecto (T) y la varianza (V_T), según las siguientes ecuaciones:

$$\boxed{T = \sum_i t_{ei}} \qquad \text{Ec. 4.4}$$

donde te_i corresponde a las duraciones esperadas de las actividades que conforman el camino crítico, y

$$\boxed{V_T = \sum_i s_{ti}^2} \qquad \text{Ec. 4.5}$$

donde s_{ti} es la desviación estándar de cada actividad que compone el camino crítico.

4. Asumir que el camino crítico consiste en un número suficiente de actividades, de modo que sea aplicable el Teorema Central del Límite de acuerdo a lo siguiente:

- Suponga que m tareas independientes se deben realizar en una secuencia tal como el camino crítico de una malla. Sean t_1, t_2, ...y t_m los tiempos requeridos en la realidad para cumplir estas tareas. Cada uno de estos tiempos representa variables aleatorias con media verdadera t_{e1}, t_{e2}, ...y t_{em} y varianzas verdaderas V_{t1}, V_{t2}, ...y V_{tm}. Los tiempos reales son desconocidos hasta que se realicen las tareas.
- El tiempo total T será entonces $T= t_1+ t_2+ .....+ t_m$, siendo T también una variable aleatoria.

- El teorema central del límite establece que si m es lo suficientemente grande (>5), la distribución de T es aproximadamente normal con media E y varianza V_T. Esto significa que $E = te_1 + te_2 + \ldots\ldots + t_{em}$ y $V_T = V_{t1} + V_{t2} + \ldots\ldots + V_{tm}$. Esto implica que la suma de las medias es la media de la suma, y que la suma de las varianzas es la varianza de la suma.

De acuerdo a lo anterior, la distribución de T será entonces una distribución normal, con media T y varianza $V_T(\sigma_T^2)$.

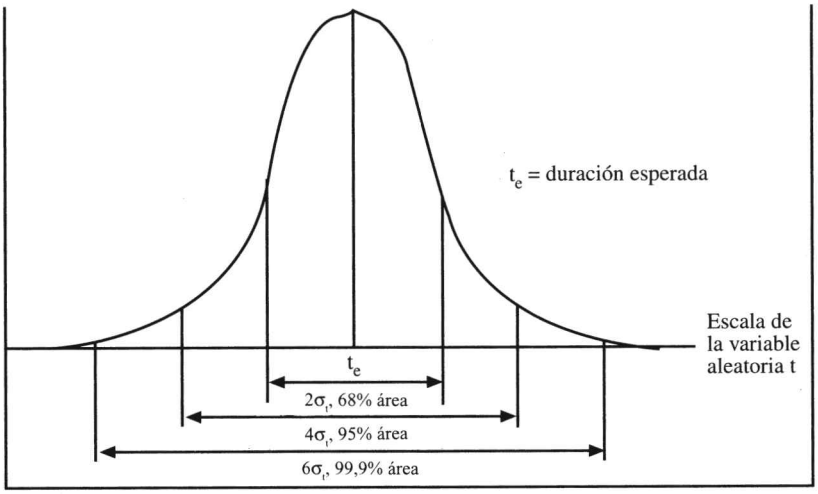


Figura 4.3 Distribución normal.

De esta forma es posible calcular la probabilidad de terminar el proyecto dentro de un plazo determinado. Para ello se necesita hacer la siguiente transformación:

$$Z = \frac{D - T}{\sigma_T} \qquad \text{Ec. 4.6}$$

Donde Z es la diferencia entre la duración deseada y la estimada, dividida por la desviación estándar del camino crítico.

Z = variable normalizada que distribuye N (0,1).

D = duración deseada.

σ_T = desviación estándar del camino crítico.

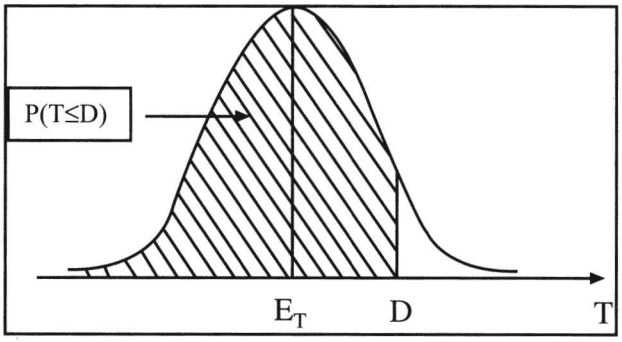


Figura 4.4 Distribución de la duración.

Luego de hacer la transformación, se puede calcular la probabilidad de terminar el proyecto en un plazo determinado, utilizando la tabla de distribución normal presentada a continuación.

Tabla 4.1 Tabla de la distribución normal estándar.

Tabla de Probabilidades (Normal Estándar)			
Z	P	Z	P
0.0	0.5000	-3.0	0.0013
0.1	0.5398	-2.9	0.0019
0.2	0.5793	-2.8	0.0026
0.3	0.6179	-2.7	0.0035
0.4	0.6554	-2.6	0.0047
0.5	0.6915	-2.5	0.0062
0.6	0.7257	-2.4	0.0082
0.7	0.7580	-2.3	0.0107
0.8	0.7881	-2.2	0.0139
0.9	0.8159	-2.1	0.0179
1.0	0.8413	-2.0	0.0228
1.1	0.8643	-1.9	0.0287
1.2	0.8849	-1.8	0.0359
1.3	0.9032	-1.7	0.0446
1.4	0.9192	-1.6	0.0548
1.5	0.9332	-1.5	0.0668
1.6	0.9452	-1.4	0.0808
1.7	0.9554	-1.3	0.0968
1.8	0.9641	-1.2	0.1151
1.9	0.9713	-1.1	0.1357
2.0	0.9772	-1.0	0.1587
2.1	0.9821	-0.9	0.1841
2.2	0.9861	-0.8	0.2119
2.3	0.9893	-0.7	0.2420
2.4	0.9918	-0.6	0.2743
2.5	0.9938	-0.5	0.3085
2.6	0.9953	-0.4	0.3446
2.7	0.9965	-0.3	0.3821
2.8	0.9974	-0.2	0.4207
2.9	0.9981	-0.1	0.4602
3.0	0.9987	-0.0	0.5000

4.2.1 Ejemplo de Aplicación del Método PERT

Con el fin de facilitar la comprensión de este método probabilístico, se presenta a continuación un ejemplo (Moder, Phillips & Davis, 1983) desarrollado paso a paso. Este problema se concentra en el cálculo de ocurrencia de los eventos de la malla y la probabilidad de alcanzar ciertos eventos en un tiempo específico. La Figura 4.5 muestra un diagrama de malla en el que se incluyen las estimaciones de t_o, t_m y t_p para cada actividad.

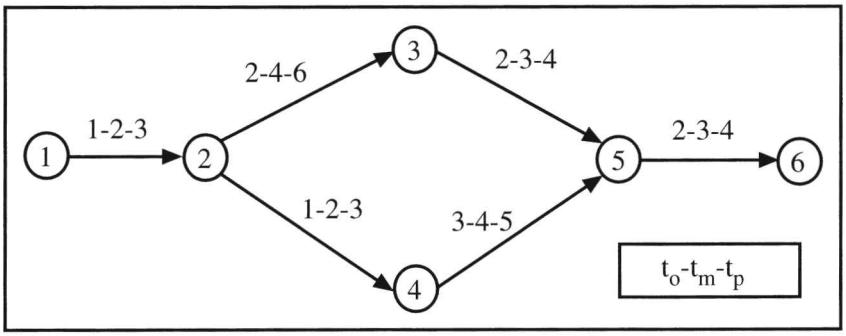


Figura 4.5

A partir de estos valores se calcula la duración esperada y la varianza de cada actividad según las ecuaciones 4.3 y 4.2, respectivamente, obteniendo los resultados que se presentan en la figura 4.6.

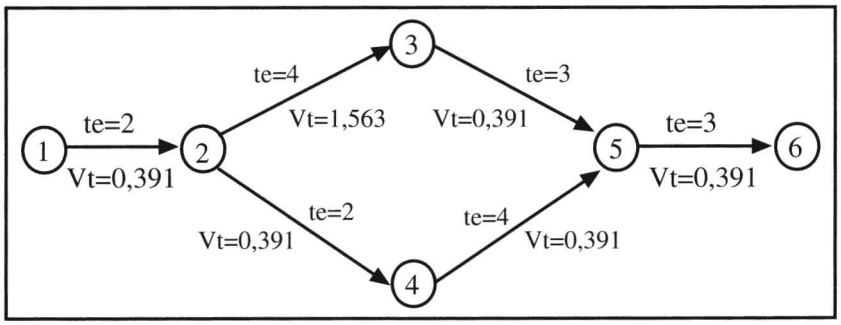


Figura 4.6

Tomando como duraciones de las actividades sus respectivas duraciones esperadas t_e, se calcula la malla y se determina el largo estimado promedio del proyecto, que en este caso es de 12 días, siendo el camino crítico aquel conformado por las actividades 1-2-3-5-6. Esto quiere decir que existe una probabilidad del 50% de terminar el proyecto en un plazo de 12 días. La figura 4.7 nos muestra esto último en forma gráfica y clara.

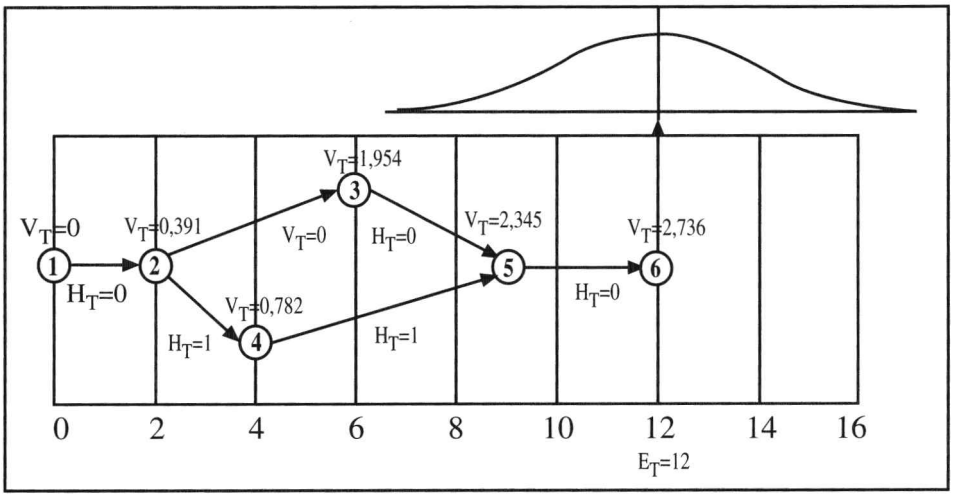


Figura 4.7

Para calcular la probabilidad de que algún evento perteneciente al camino crítico se desarrolle en un determinado plazo de acuerdo al tiempo programado para su cumplimiento, se realiza un análisis probabilístico.

Si retomamos el ejemplo anterior y queremos ver la probabilidad de cumplir el evento (6) en catorce días o menos, debemos seguir los siguientes pasos:

- Calcular la varianza del evento (6): para calcular la varianza de cualquier evento sobre el camino crítico, se utiliza la ecuación 4.5, lo que equivaldría a la suma de las varianzas de todas las actividades que preceden al evento (6) por el camino crítico.

$$\sigma_6^2 = \sum_i \sigma_{ti}^2 = 0{,}391 + 1{,}563 + 0{,}391 + 0{,}391 = 2{,}736$$

- Calcular la desviación estándar del nodo (6): este valor es simplemente la raíz cuadrada de la varianza.

$$\sigma_6 = \sqrt{2{,}736} = 1{,}6541$$

- Calcular el valor de Z (Ec. 4.6) de modo de poder trabajar con una tabla para distribuciones normales (0,1). Algunas calculadoras científicas son capaces de trabajar con cualquier distribución normal (m, s^2). De todas maneras señalamos a continuación el procedimiento estándar.

$$Z = \frac{D - T}{\sigma_T} \Rightarrow Z(6)\ \frac{14\text{-}12}{1{,}654} = 1{,}21$$

El valor Z= 1,21, indica que la duración analizada (14 días) tiene 1,21 desviaciones estándar más que el tiempo esperado Te = 12 días.

- Con el valor de Z entramos a una tabla normal (0,1) y obtenemos que el área bajo la curva hasta el punto Z (que es el valor que normalmente entregan las tablas de distribución normal) es:

$$P\ (T \leq 14) = P\ (Z \leq 1{,}21) \approx 0{,}89$$

Esto quiere decir que la probabilidad de que el evento (6) se realice en 14 días o menos, cuando su duración esperada es 12 días, es de 89%. La figura 4.8 muestra la distribución acumulativa de probabilidades para distintas duraciones deseadas.

D	Z	P acomulada
8	-2,43	0,008
10	-1,22	0,111
12	0	0,500
14	1,22	0,889
16	2,43	0,992
18	3,65	1,000

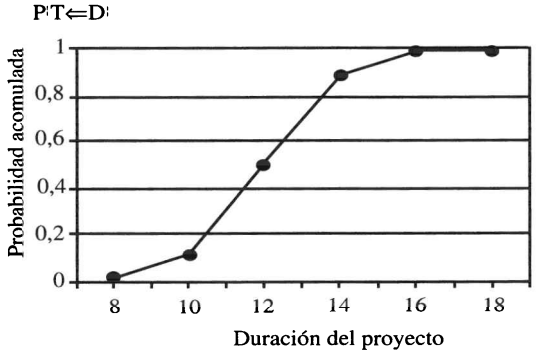


Figura 4.8

Usando la curva anterior, es posible para un administrador tomar decisiones respecto del nivel de riesgo con el cual desea trabajar en un proyecto en cuanto al cumplimiento de la duración. Por ejemplo, si el administrador del proyecto quiere trabajar con una duración que tenga no más de un 10% de probabilidades de ser excedida, entonces podría establecer 14 días como duración del programa.

Cabe destacar que en un análisis probabilístico de mallas hay que tener cuidado con lo que ocurre con los caminos subcríticos. Éstos se pueden hacer realmente relevantes cuando tienen una desviación estándar mayor que la del camino crítico. Esto implica que un camino subcrítico al tener mayor desviación, puede aumentar su duración (media), y se podría convertir en el camino crítico del proyecto.

El sistema PERT convencional generalmente entrega resultados sesgados en el sentido optimista. Este sesgo nace del hecho de ignorar los caminos subcríticos en la realización del cómputo de la malla. El error provocado por este sesgo aumenta si se incrementa el número de actividades que llegan al evento, si los tiempos esperados de término de las actividades que se combinan en el evento se acercan, si las varianzas de las actividades que se combinan aumentan o si la correlación entre los tiempos de término de las actividades que se combinan se aproxima a cero.

Una forma sencilla de obtener un resultado con menor sesgo es incorporar aquellos caminos subcríticos que son muy cercanos al camino crítico del proyecto en el cálculo de probabilidades, de acuerdo a lo siguiente:

$$P(T \leq D) = P(T_1 \leq D) \text{ x} \ldots\ldots\ldots\ldots \text{x } P(T_K \leq D)$$

Por otro lado, cuando la diferencia entre las duraciones esperadas de dos actividades que se combinan es mayor que la mayor de las respectivas desviaciones estándar, la corrección por sesgo será muy pequeña y puede despreciarse.

4.3 GERT (Graphical Evaluation and Review Technique)

Los diagramas flecha-actividad o nodo-actividad están basados en una red determinística lógica. Esto significa que se asume que cada camino en la red es necesariamente parte del proyecto y no existen caminos alternativos u opcionales.

Sin embargo, existen proyectos para los cuales no se está seguro de cuáles actividades se van a incluir, y donde el resultado del proyecto puede depender de los resultados de ciertas cadenas de actividades. Generalmente estos proyectos presentan ciertas características especiales tales como resultados opcionales, ciclos de retroalimentación y repetición de actividades.

Para aquellos proyectos que no son modelados correctamente por los métodos tradicionales, GERT es una herramienta que ofrece mayor flexibilidad que el PERT, ya que incluye capacidades tales como: ramificación probabilística o modelos estocásticos; mallas con loops o ciclos de retroalimentación; eventos con resultados múltiples; ocurrencias múltiples de un evento.

Entre las aplicaciones de GERT, podemos nombrar la planificación de proyectos de investigación y desarrollo, la planificación de la producción de nuevos productos, sistemas de control de calidad, la planificación de desarrollo y capacitación de mano de obra, la planificación de productos, investigaciones de mercado, etc.

Una de las formas de notación básica del sistema GERT es la que se muestra en la tabla 4.2. El diagrama lógico de flechas del método PERT/CPM es representado por el nodo

circular mostrado en la parte superior izquierda de la tabla. Los otros tres nodos de la tabla son extensiones lógicas de GERT que permiten la retroalimentación, la ramificación y los múltiples resultados finales del proyecto (Moder, Phillips & Davis, 1983).

Tabla 4.2 Notación básica del método GERT.

Entrada / Salida	Y	O
Determinístico	N	F S
Probabilístico	N	F S

N: denota el número de identificación del nodo.

Y: el nodo Y sólo se activará si todas las actividades (flechas) que llegan al nodo se realizan.

F: denota el número de actividades predecesoras que deben ser completadas para la *primera* realización del nodo, y **S** denota el número requerido para las realizaciones subsecuentes.

O: el nodo O se realizará por primera vez cuando cualquier F del total de las actividades que llegan al nodo sea completada.

Nodo Determinístico: todas las actividades que emanan de este nodo son tomadas subsecuentemente si el nodo se realiza.

Nodo Probabilístico: sólo una actividad que sale del nodo es tomada si el nodo se realiza. La suma de las probabilidades asociadas a cada una de las actividades de salida es uno.

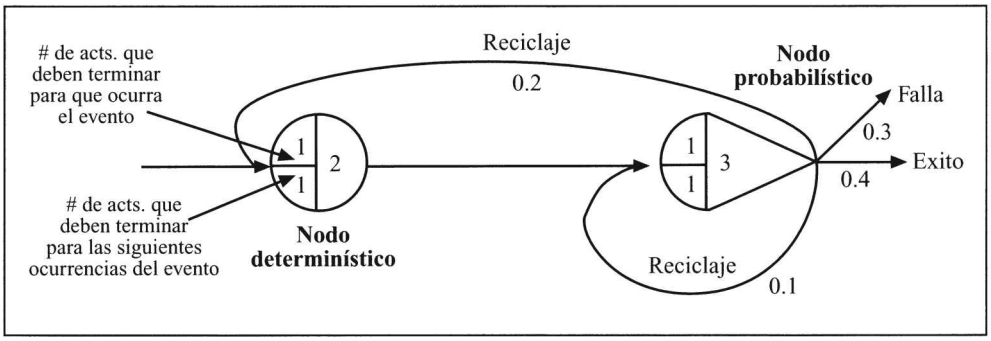


Figura 4.9 Diagrama del método de programación GERT.

A continuación se muestra un ejemplo para comprender el funcionamiento de los nodos en el método de programación GERT.

Actividad	Descripción
1-2	Inicio
2-3	Definición del problema
3-4	Investigación
4-5	Propuesta de solución
5-6	Desarrollo de prototipo
5-7	Abandono del proyecto
6-8	Implementación

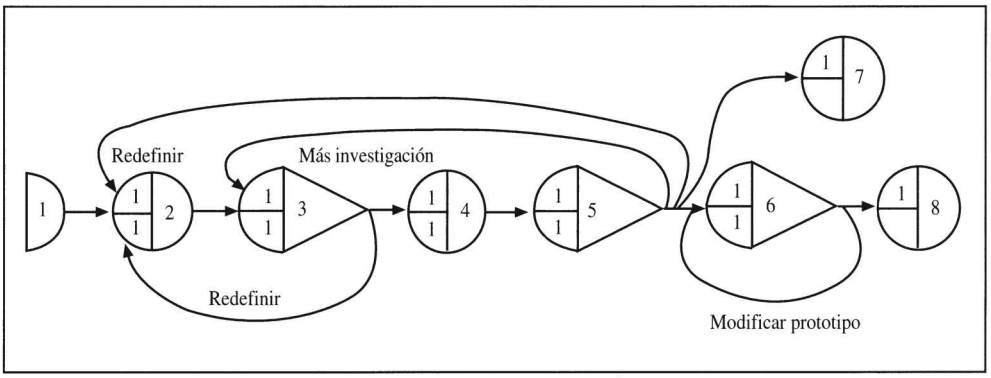


Figura 4.10 Ejemplo de programación GERT

Para utilizar GERT se requiere hacer una diagramación usando mallas, ingresar los datos a un computador y hacer simulación usando un programa especial (Gert-IIIz).

4.4 Simulación

Los proyectos de construcción están frecuentemente asociados a un alto grado de incertidumbre ya que sus actividades están sujetas a una amplia variedad de fluctuaciones e interrupciones. Un ejemplo es el efecto del clima en la productividad y el progreso de ciertas actividades. Como resultado de estas interferencias, el comportamiento de los procesos de construcción están sujetos a ciertas variables aleatorias.

El método PERT intenta estimar la incertidumbre que existe en el programa del proyecto, pero con ciertas limitaciones ya discutidas. La simulación ofrece una herramienta que elimina muchas de estas limitaciones.

El método de la simulación es esencialmente probabilístico y computacional, y es utilizado en casos en que existe una gran incertidumbre, junto con la existencia de múltiples caminos críticos en el plan de un proyecto. Con la masificación del uso de computadores, muchas de las dificultades computacionales y el tiempo que consumían los cálculos han sido superados.

Los pasos generales a seguir para la aplicación de la simulación se pueden resumir en los siguientes:

1. Desarrollar el modelo del sistema a ser simulado (plan y programa).
2. Probar el modelo para asegurarse que representa adecuadamente el problema en estudio.
3. Crear programa computacional para ejercitar el modelo.
4. Correr la simulación y evaluar los resultados.

El sistema más utilizado para estudios de simulación en planificación es el método de Monte Carlo. En el análisis de simulación, el modelo del sistema toma los datos entrantes en forma de variables aleatorias. El computador realiza entonces experimentos con muchas variaciones de los datos entrantes y recolecta una serie de resultados, los que son presentados en forma de distribuciones estadísticas. El resultado puede ser entonces analizado estadísticamente para obtener una medida de la incertidumbre y el riesgo. Las etapas básicas del proceso de simulación de Monte Carlo se pueden resumir en:

1. Identificar las distribuciones de probabilidad de cada componente aleatoria del modelo.
2. Seleccionar un proceso de generación de números aleatorios, de modo que represente adecuadamente la ocurrencia de los eventos durante la simulación.

3. Asegurar que los intervalos de los números aleatorios correspondan a la distribución de probabilidad.
4. Obtener los números aleatorios para cada corrida de simulación.
5. Transformar los números aleatorios en valores de los parámetros del modelo usando las distribuciones acumulativas asociadas a dichos parámetros.
6. Calcular los resultados deseados, utilizando los valores determinados previamente y aplicando el modelo de simulación.
7. Repetir el proceso un número de veces lo suficientemente grande para obtener una distribución confiable de resultados.
8. Interpretar los resultados.

Para la obtención de números aleatorios pueden utilizarse diversas distribuciones de probabilidades. Dos de las típicamente utilizadas, la distribución uniforme y la distribución normal, son señaladas en la figura 4.11 junto con sus respectivas curvas características de distribución acumulada. También pueden usarse distribuciones empíricas obtenidas de información histórica.

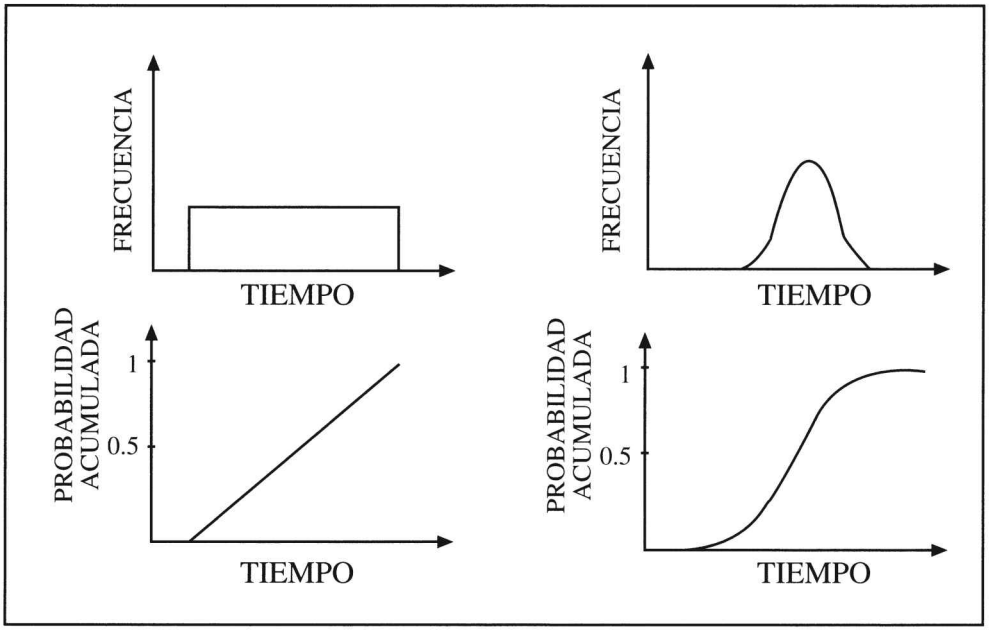


Figura 4.11 Curvas típicas de distribución.

Por ejemplo si se tienen dos actividades con la distribución de probabilidades acumulada que se muestra en la figura 4.12, al realizar una simulación (línea continua) se obtienen valores para la duración de cada actividad (t_{12} y t_{23}). La duración total será entonces $t_{12} + t_{23}$. Si se repite el proceso se obtendrá otro valor para la duración de las actividades (línea punteada).

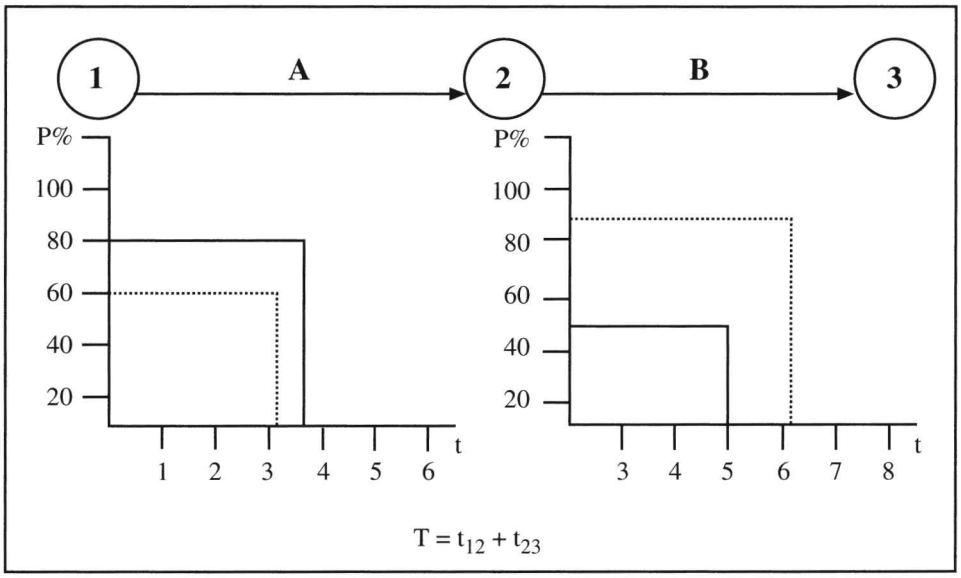


Figura 4.12 Ejemplo de simulación.

T = duración total (resultado) = $t_{12} + t_{23}$

t_{12} = duración actividad A

t_{23} = duración actividad B

Por el teorema central del límite, si se tiene un proyecto con una cantidad suficiente de actividades (generalmente se habla de al menos 25), y se realizan varias simulaciones, la duración total del programa determinado por dichas actividades, tenderá a un cierto valor. Este valor será la duración total más probable para ese proyecto.

4.5 Resumen

Los métodos probabilísticos son apropiados para proyectos con un alto grado de incertidumbre, es decir, las duraciones individuales de las actividades y la duración global del proyecto están sometidas a una considerable posibilidad de variación.

El método PERT reconoce la estimación probabilística de las duraciones de las actividades, incorporando tres duraciones para cada actividad: duración optimista, pesimista y duración más probable.

Existen proyectos para los cuales no se está seguro de cuáles actividades se van a incluir, y donde el resultado del proyecto puede depender de los resultados de ciertas cadenas de actividades. El método GERT es una herramienta que ofrece mayor flexibilidad que el método PERT, ya que incluye capacidades como ramificación probabilística o modelos estocásticos, mallas con loops o ciclos de retroalimentación, eventos con resultados múltiples y ocurrencia múltiple de un evento.

El método de la simulación es utilizado cuando existe una gran incertidumbre, junto con la existencia de múltiples caminos críticos en el plan de un proyecto, y es esencialmente probabilístico y computacional.

4.6 Ejercicios

Conceptos

1. ¿Cuál es el objetivo principal del sistema PERT?

2. Describa las principales características y el procedimiento de solución del método PERT, y comente sus limitaciones como un sistema de programación para proyectos de construcción.

3. Describa breve y gráficamente la aplicación de la simulación Monte Carlo para la programación de un proyecto que consiste en dos actividades secuenciales. Indique cuál es el resultado que entrega esta metodología y cómo lo utilizaría.

4. Suponga que Ud. ha realizado la planificación de un proyecto usando el método PERT. Como resultado de ésta, ha obtenido una duración esperada del proyecto T= 8,5 meses y una varianza total del proyecto V_t = 1,2 meses. ¿Cómo calcularía Ud. la probabilidad de terminar el proyecto en 6 meses? Explique claramente considerando todos los elementos de análisis que se deberían considerar.

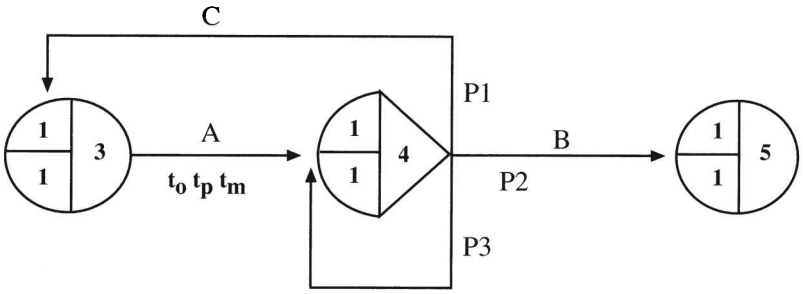
5. Describa las principales características y el procedimiento de solución del método PERT y comente sus limitaciones como un sistema de programación para proyectos de construcción.

6. Describa brevemente la metodología general del método de simulación de Monte Carlo para la estimación de la probabilidad de término de un proyecto en una fecha dada. ¿Qué ventajas tiene este método con relación al método PERT?

7. ¿En qué circunstancias es conveniente usar métodos probabilísticos de programación? ¿Cuál es la premisa central de los métodos probabilísticos?

8. ¿Qué tipos de nodos existen en el sistema GERT?

9. Describa los elementos principales que se presentan en la siguiente malla GERT:



Problemas

1. Suponga que Ud. tiene un proyecto que consiste en la remodelación de un piso completo de un edificio, con el propósito de trasladar a ese lugar las oficinas de una importante empresa de servicios. Para ello se ha contratado una constructora que realizará el trabajo. En total se han identificado 40 actividades principales para la ejecución de este proyecto, el que tiene fecha de término el día 31 de mayo, ya que el traslado del personal de la empresa se realizará el día 3 de junio. Sin embargo, el Gerente del Proyecto de la empresa está preocupado de saber cual es la probabilidad de cumplimiento de esta fecha por parte de la constructora. Para ello lo ha contratado a Ud. para que le calcule, en base al programa de trabajo establecido, la probabilidad de poder terminar en la fecha indicada. Al respecto:

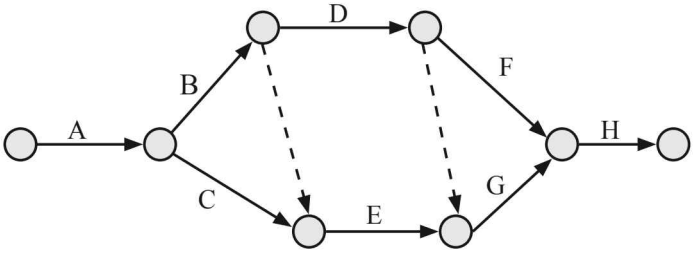
a) ¿Cómo calcularía Ud. la probabilidad de cumplimiento de la fecha de término? Explique claramente.

b) ¿De qué dependería la validez del cálculo realizado por Ud.? Explique.

2. Ud. tiene la siguiente malla del plan de trabajo de un proyecto.

a) Indique cuál es la probabilidad de terminar el proyecto en 60 días.

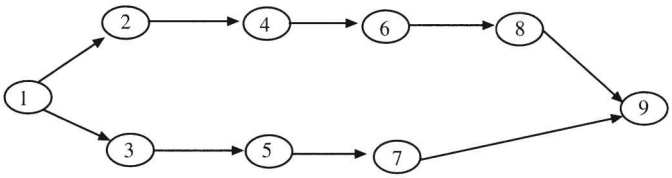
b) Indique cuál es la duración cuya probabilidad de cumplimiento es de un 70%.



Actividad	T. optimista	T. normal	T. pesimista	Te	St	Vt
A	10	16	20			
B	7	10	20			
C	5	7	8			
D	15	18	21			
E	25	30	32			
F	6	9	12			
G	21	25	28			
H	6	8	9			

3. En la malla que se muestra a continuación, ¿qué probabilidad hay que la trayectoria 1-3-5-7-9 sea crítica?

ACTIVIDAD	T_o	T_m	T_p
1 - 2	1	2	3
1 - 3	1	2	3
2 - 4	1	3	5
3 - 5	1	4	7
4 - 6	2	4	6
5 - 7	2	3	4
6 - 8	1	1	1
7 - 9	1	2	3
8 - 9	2	3	4



V.
SISTEMAS DE PLANIFICACIÓN PARA PROYECTOS REPETITIVOS

5.1 Programación Rítmica

La programación rítmica es una técnica que se utiliza en proyectos de naturaleza repetitiva o para aquellas partes de un proyecto que lo sean. Esta técnica se originó a partir de los procesos en línea de la producción industrial, en los cuales los productos se mueven pasando a través de distintas operaciones que van materializando el producto final.

En la industria de la construcción también se producen este tipo de procesos, pero a diferencia de la industria tradicional, en construcción el producto permanece fijo y son los recursos productivos los que se mueven para materializar la obra, es decir, son las cuadrillas de personal las que se mueven. Este tipo de programación es factible de aplicar en obras tales como: construcción de un conjunto de viviendas iguales, construcción vertical en edificios, construcción de caminos y pavimentos, construcción de tuberías y otros tipos de obras con componentes repetitivos.

La característica principal de esta programación es que todas las operaciones o actividades que intervienen en la construcción de cada uno de estos elementos repetitivos se realizan en un tiempo común llamado ritmo. El motivo de llevar todas las operaciones a un tiempo común es eliminar los tiempos muertos (holguras) que se producen en las operaciones de menor duración, haciendo de este modo críticas a todas las operaciones y logrando así un proceso continuo.

Para desarrollar este método es necesario llevar a cabo una serie de actividades, las cuales se nombran a continuación:

1. Hacer una lista de las operaciones repetitivas, agrupándolas en actividades.
2. Estimar el tiempo requerido para completar cada unidad de producción usando un número razonable de recursos (duración del ritmo).
3. Evaluar si el ritmo más largo puede ser acortado asignando más recursos, o transfiriendo algunas de las operaciones que componen la actividad a otras actividades.
4. Repetir con el siguiente ritmo más largo y continuar hasta que todos los ritmos sean aproximadamente los mismos, o sean múltiplos o submúltiplos del ritmo principal.
5. Usando un formato tipo diagrama de barras, dibujar los ritmos de cada actividad, respetando todas las restricciones de secuencia entre ellas.
6. Evitar interferencia física, permitiendo que cada cuadrilla abandone el área de trabajo antes de comenzar con la siguiente actividad (concepto de *cancha*).
7. Verificar que no hay conflictos en la utilización de recursos.

Para comprender esto claramente, consideremos a manera de ejemplo la construcción de 10 elementos de obra (las fundaciones de 10 casas), cada uno de los cuales consta de 6 operaciones tardando cada una de éstas un tiempo de 1 día en realizarse. Llamaremos A, B, C, D, E y F a las operaciones y numeraremos los elementos de 1 a 10. Al representar este caso en un diagrama de coordenadas, llevando el tiempo (en ritmo) en el eje de la abscisa y las operaciones en el eje de las ordenadas, obtendremos la siguiente figura:

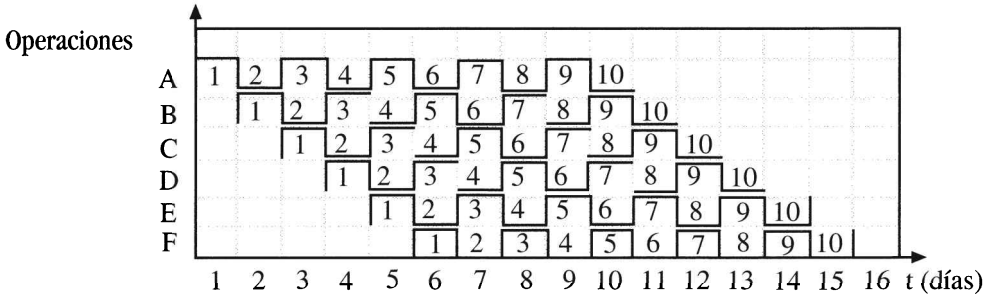


Figura 5.1

Las programaciones rítmicas toman la forma de un paralelógramo (a,b,α), en el cual el lado "a" dependerá del número de operaciones (O) y del ritmo (R), el lado b del número de elementos repetitivos (N), y el ángulo α del ritmo.

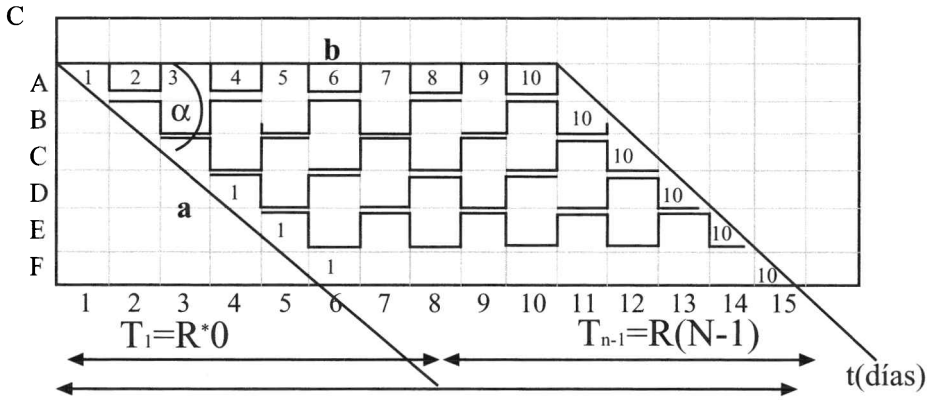


Figura 5.2

El tiempo total (T_t) de ejecución de los N elementos está representado en la figura 5.2 por el segmento compuesto a su vez por los segmentos T_1 y T_{n-1} :

$$T_t = T_1 + T_{n-1} \qquad (1)$$

T_1 corresponde al tiempo de ejecución del primer elemento y equivale al número de operaciones críticas multiplicado por tiempo de ritmo.

$$T_1 = R^* O \qquad (2)$$

T_{n-1} es el tiempo de ejecución de los N-1 elementos restantes y equivale al número de éstos multiplicados por el tiempo del ritmo.

$$T_{n-1} = R\,(N-1) \qquad (3)$$

Introduciendo los nuevos valores de T_1 y T_{n-1} de las ecuaciones (2) y (3) en la ecuación (1), obtenemos la ecuación para el tiempo total de ejecución de N elementos con O operaciones cada uno y ritmo R.

$$\mathbf{T_t = R\,(O + N - 1)} \qquad \text{(Ec. 5.1)}$$

Para nuestro ejemplo anterior, donde N=10, O=6 y R=1, reemplazando en las ecuaciones anteriores tendremos:

T_1 = 1*6 = 6 días
T_t = 1 (6 + 10 -1)= 15 días

es decir, el número de elementos que se construyen por ritmo o bien la producción en el ritmo.

Al introducir el factor K en la ecuación 5.1:

$$\mathbf{T_t = R\,(O + [N/\,K] - 1)} \qquad \text{(Ec. 5.2)}$$

Esta última es la ecuación general para el tiempo de ejecución de N elementos con O operaciones cada uno, construidos a razón de K elementos en el tiempo de ritmo R.

Para la determinación del ritmo, generalmente se escoge la duración de mayor frecuencia (la moda, en términos estadísticos) entre las distintas actividades. Una vez llevadas todas las operaciones finales al tiempo de ritmo escogido tendremos entonces las duraciones finales y podremos volver con estos datos a nuestra malla de actividades para así poder procesarla.

Una vez escogido el ritmo, determinar la velocidad de construcción consiste en elegir un valor para la variable K en la ecuación general de la programación rítmica (Ec. 5.2), es decir el número de elementos a ser realizados en el tiempo de ritmo. K podrá tomar el valor de cualquier entero y será mayor mientras menor sea el plazo de ejecución de N elementos dados.

K es de fácil obtención a partir de la ecuación general, ya que conociendo los demás términos de la desigualdad y siendo todos éstos positivos podemos despejarlo:

$$R\,(O + [N/K] - 1) \leq T_t$$

$$K \leq RN/[T_t - R(O - 1)]$$

Naturalmente mientras mayor sea el valor de K, mayor será el requerimiento de mano de obra, ya que K=2 significa atacar la ejecución en 2 frentes; K=3, en tres, etc. Para valores de K mayores que uno es posible a veces aprovechar las cuadrillas que terminan una operación, introduciéndolas en la iniciación de otras.

Al presentarse el caso de operaciones que tardan menos de un ritmo y ocupan cuadrillas de naturaleza indivisible (un maestro con ayudante indispensable, un maestro, ayudante o jornalero solo), los tiempos muertos quedan representados por:

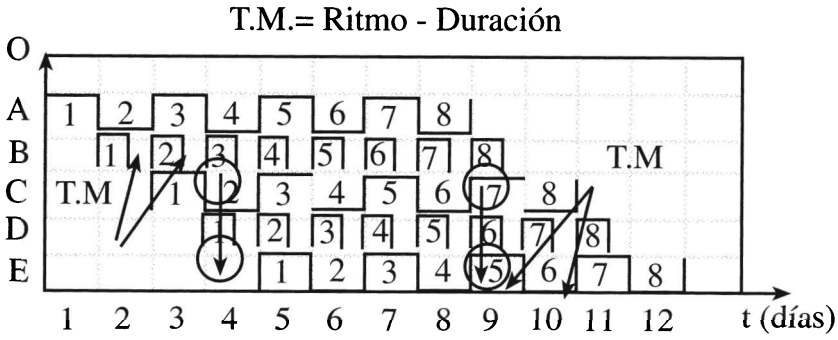


Figura 5.3

En el ejemplo de la figura 5.3 las actividades B y D tardan medio ritmo en ser realizadas por una cuadrilla indivisible. A partir del cuarto día se combinan éstas de tal manera que la cuadrilla comience la jornada realizando la actividad B en la unidad 4 para luego trasladarse a la unidad 1 a efectuar la operación D. Esta combinación de operaciones permite una mejor utilización de los recursos existentes al hacer que una cuadrilla rinda la jornada completa, efectuando dos o más operaciones en el tiempo de ritmo. De no lograrse esta combinación habría que considerar una cuadrilla por cada operación fraccionaria y los tiempos muertos aumentarían enormemente.

Es evidente que las operaciones que se combinen deberán ser de la misma naturaleza, ya que un maestro carpintero no hará excavaciones ni un jornalero colocará marcos de puertas y ventanas. En este sentido las operaciones que requieren menos especialización presentan mayor versatilidad. Por otro lado, en el caso de tener operaciones que tardan más de un ritmo, y cuyas duraciones no pueden ser reducidas por más que se le asignen recursos adicionales, se deberán utilizar cuadrillas múltiples, es decir, tantas como múltiplos del ritmo sea la duración de la actividad.

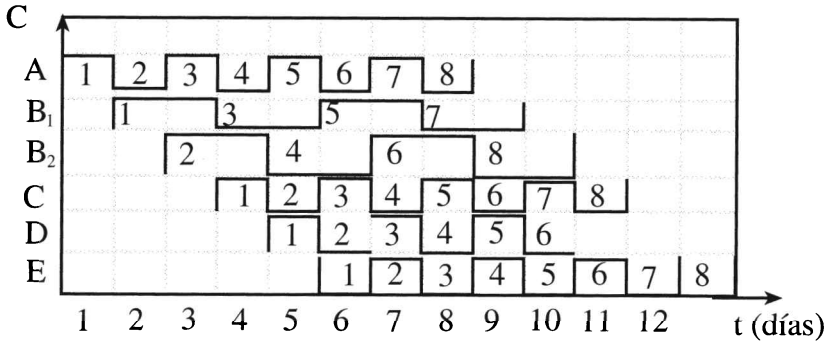


Figura 5.4

En el ejemplo de la figura 5.4 , donde N=8, K=1 y R=1 día, la actividad B tiene una duración de dos ritmos. En el día 2 la actividad B comienza en la vivienda 1, luego el día 3 interviene otra cuadrilla que realiza la misma actividad sobre las unidades 2, 4, 6 y 8. Esta cuadrilla refuerza la actividad B, equilibrando las diferencias en velocidad de ejecución que existen entre B y las operaciones rítmicas.

Es necesario entonces introducir en estos casos tantas cuadrillas por operación como la razón entre la duración de la actividad y el tiempo de ritmo:

$$\text{Nº de cuadrillas por operación} = \frac{\text{Duración de la operación}}{\text{Tiempo de ritmo}}$$

El número de operaciones O de nuestro ejemplo será entonces 6: A, B_1, B_2, C, D y E. En el caso de contar con operaciones paralelas, es decir, caminos paralelos al camino crítico, sólo las operaciones críticas inciden en el término O utilizado en la ecuación 5.2. Esto se debe a que las operaciones paralelas se realizan simultáneamente con las críticas, y por lo tanto no se consideran utilizando tiempo de ritmo.

5.1.1 Ejemplo de aplicación de la Programación Rítmica

Se contempla desarrollar un proyecto para realizar el tendido de una tubería de 15 kilómetros de largo. Para esto se diseña el programa de trabajo mostrado en la figura 5.5, donde aparecen las duraciones para cada actividad.

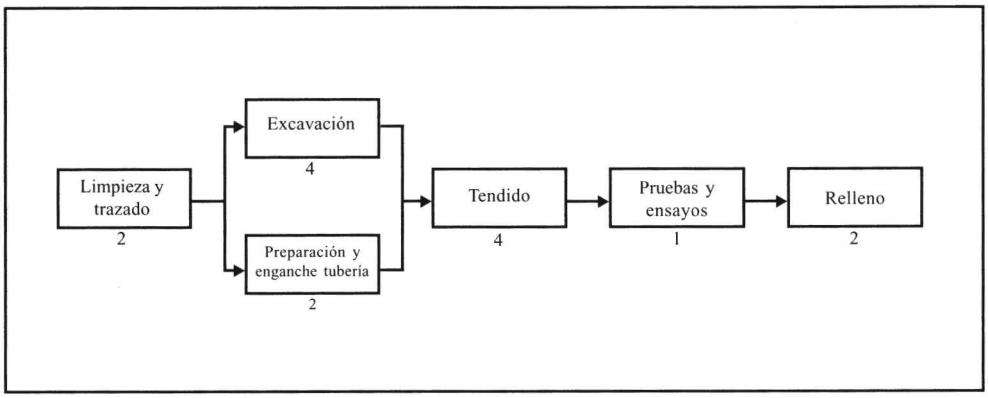


Figura 5.5

De acuerdo a las duraciones de las actividades se decidió tomar un ritmo de 2 días. La duración del proyecto se determinó según la ecuación 5.1:

$$T_t = R\,(O + N - 1)$$

En nuestro ejemplo:

R = 2 días
O = 7
N = 15 (kilómetros)

La razón por la cual se consideran siete operaciones y no las ocho que aparecen en la figura 5.5, es que sólo fueron consideradas las operaciones pertenecientes al camino crítico del proyecto. Es así como la actividad de preparación y ensanche de tuberías no ha sido considerada para la ecuación 5.1 pero sí es parte de la planificación del proyecto, según se muestra en la siguiente figura:

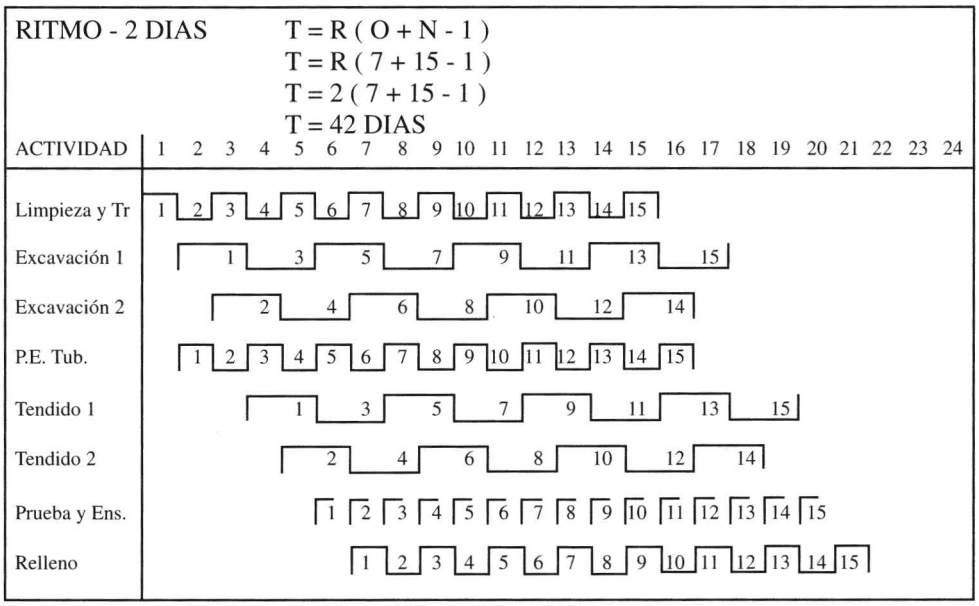


Figura 5.6

5.2 Líneas de Balance y Gráfico de Velocidad

La técnica de líneas de balance fue desarrollada en la industria manufacturera para el control de operaciones repetitivas. A partir de la década de los setenta, esta técnica ha sido usada en forma creciente en la construcción para la programación de obras de características repetitivas, tanto continuas como no continuas, tales como repavimentación de caminos, caminos, conjunto de viviendas iguales o similares, edificación en altura y obras de construcción en serie en general.

El propósito de esta técnica es *balancear* la velocidad de avance de todas las actividades involucradas en el proyecto y programar las actividades de modo de eliminar las interferencias entre éstas. Esto se realiza ajustando la velocidad de producción para cada actividad, de manera de aproximarla a una velocidad común para todas las actividades, y retrasando la partida de aquellas actividades que, incluso después del ajuste, se desarrollan a una velocidad mayor a la actividad que la precede, para mantener al menos la mínima cancha entre las dos actividades de manera de que no tengan interferencias.

La velocidad de progreso o tasa de producción para cada actividad se obtiene a partir de los métodos normales de estimación, como función de los recursos asignados a cada actividad y a las condiciones de trabajo. En la selección de esta velocidad, se debe buscar la optimización del costo directo de cada actividad. Posteriormente, cuando se analiza el proyecto como un todo, se debe buscar la optimización global del costo total del proyecto, incluyendo todos los componentes que lo conforman.

El gráfico que representa la programación utilizando la técnica de líneas de balance corresponde a una carta bidimensional, en que la abscisa representa el progreso o posición de avance, y la ordenada, el tiempo (figura 5.7).

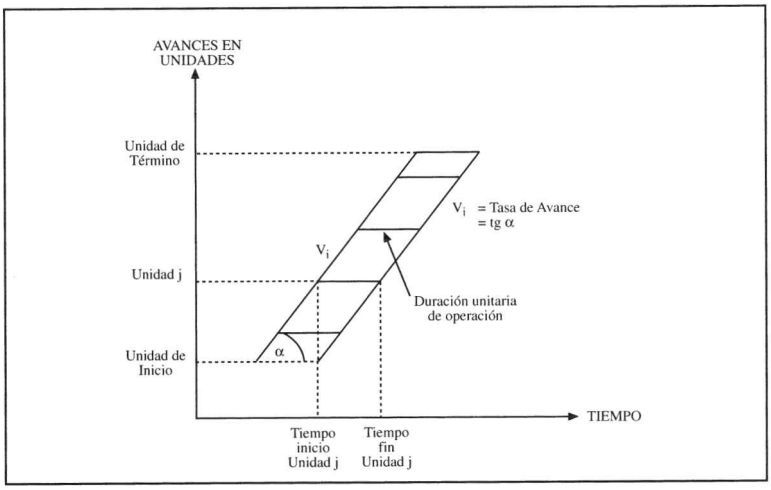


Figura 5.7 Modelo de representación de la línea de balance.

En aquellas obras realizadas en forma continua o semicontinua, se debe considerar cierto tiempo o espacio entre ciertas actividades. Estas holguras también son importantes cuando las actividades tienen diferente velocidad de avance. La figura 5.8 nos muestra la forma en que se dibujan estas holguras.

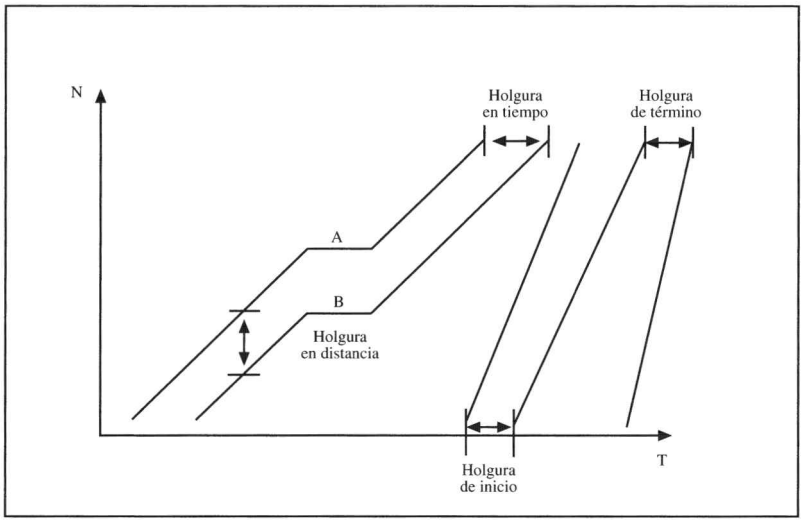


Figura 5.8 Tipos de Holgura.

Para obtener la pendiente con que se dibujará el avance de las actividades, es decir, la tasa de producción o velocidad de avance, es necesario calcular T, que corresponde al tiempo desde el comienzo de la primera unidad hasta el comienzo de la última unidad. Para dibujar la pendiente de la siguiente actividad es necesario comparar su tasa de producción con la de la actividad que le precede. Si la velocidad de avance de la actividad que le precede es mayor, sólo debe considerarse una holgura de comienzo entre estas dos actividades (esta holgura puede especificarse como 0), sin temor a que la segunda actividad interfiera con la ejecución de la primera. Esto significa que la segunda actividad puede empezar inmediatamente después de la holgura. En cambio, si la velocidad de la actividad predecesora es menor, será entonces necesario considerar una holgura de término entre las dos.

La velocidad de avance de una actividad puede variar durante la ejecución de ésta, o se pueden producir interrupciones tanto voluntarias como involuntarias. La representación de estas situaciones es sencilla y se visualiza como un quiebre en la recta de avance en el que puede existir un desplazamiento lateral, como se puede apreciar en los puntos A y B (detenciones) de la figura 5.8, manteniendo luego la misma pendiente, o un cambio de pendiente (cambio de velocidad de avance). Por supuesto puede producirse también una combinación de ambas.

En el modelo clásico de líneas de balance (el de la industria manufacturera), se asume que cada recurso realiza la mismo contribución al avance que el resto, a pesar del número de recursos utilizados. Por ejemplo, si una actividad necesita de 24 hh para ser realizada, a un trabajador le tomaría un día completo (24 horas) para terminarla; mientras que a 24 trabajadores les tomaría sólo 1 hora terminar dicha actividad. De este modo es posible ajustar con gran exactitud la velocidad de avance de cada actividad, lo que significaría lograr hacer trabajar a todas las actividades a una misma velocidad de avance.

Aplicar este modelo tal cual en la industria de la construcción es poco realista. Los obreros dentro de una construcción raramente trabajan como un solo individuo o en grandes grupos. Años de experiencia y de práctica dentro de la construcción han establecido aproximadamente los tamaños más efectivos para distintos grupos de trabajo o cuadrillas. Por lo tanto, el balance debe hacerse basado en el nivel de producción de las cuadrillas, más que en individuos (unidades de hh).

La metodología a seguir para desarrollar un modelo de representación de líneas de balance será entregada a través de un ejemplo, con el fin de facilitar su entendimiento.

5.2.1 Aplicación del Método de Líneas de Balance

Se debe llevar a cabo un proyecto de construcción de 20 torres de alta tensión, para lo cual se ha solicitado preparar una programación de líneas de balance. Se deberán entregar 5 torres por semana, trabajando 10 horas diarias de lunes a sábado.

La malla a continuación muestra el plan de ejecución de cada unidad. Para cada actividad se indica la cantidad de horas-hombre requeridas para cada torre y el tamaño óptimo de la cuadrilla por operación. Se debe asumir una cancha mínima de siete días entre las actividades Fundaciones y Montaje.

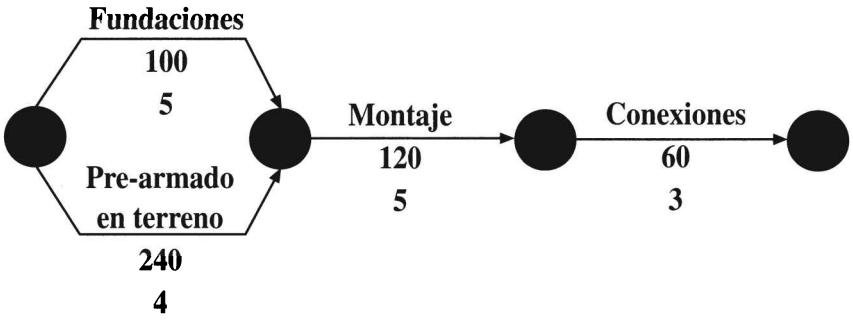


Figura 5.9 Ejemplo

Del enunciado obtenemos los siguientes datos:

N = 20 torres

Vp = 5 torres/semana

D = 6 días

H = 10 horas/día

Donde:

N : número de unidades a construir

Vp : velocidad o tasa de producción

D : días trabajados por semana (cuando Vp está en unidades/semana)

H : horas diarias trabajadas

Estos datos nos permiten completar la tabla a continuación, en la cual:

HH : horas-hombre necesarias para completar una unidad

Q : tamaño óptimo de la cuadrilla

G : número de trabajadores necesarios para conseguir la tasa de producción especificada

FT : trabajadores totales (se debe elegir un múltiplo de la cuadrilla óptima)

U : tasa real de avance por semana

T : tiempo (en días) requerido para completar una unidad

S : tiempo (en días) total entre el comienzo de la primera y la última unidad

NºC : número de cuadrillas utilizadas por operación

Operación	HH	Q	G	FT	U	T	S	NºC
FUNDACIONES	100	5	8.33	10	6	2	19	2
P. ARMADO	240	4	20	20	5	6	22.8	5
MONTAJE	120	5	10	10	5	2.4	22.8	2
CONEXIONES	60	3	5	6	6	2	19	2

Estos valores fueron obtenidos de las fórmulas:

$$G = \frac{HH \cdot Vp}{D \cdot H} = \left[\frac{\frac{\text{horas} \cdot \text{hombre}}{\text{torre}} \cdot \frac{\text{torres}}{\text{semana}}}{\frac{\text{días}}{\text{semana}} \cdot \frac{\text{horas}}{\text{día}}} \right] = [\text{hombres}]$$

$$FT = N^{o}\ C \times Q = [\text{hombres}]$$

$$U = \frac{FT \cdot Vp}{G} = \left[\frac{\text{hombres} \cdot \frac{\text{torres}}{\text{semana}}}{\text{hombres}} \right] = \left[\frac{\text{torres}}{\text{semana}} \right]$$

$$T = \frac{HH}{H \cdot Q} = \left[\frac{\text{horas} \cdot \text{hombre}}{\frac{\text{horas}}{\text{día}} \cdot \text{hombres}} \right] = [\text{días}]$$

$$S = \frac{(N-1) \cdot D}{U} = \left[\frac{\text{torres} \cdot \frac{\text{días}}{\text{semana}}}{\frac{\text{torres}}{\text{semana}}} \right] = [\text{días}]$$

A partir de los datos de la tabla dibujamos las líneas de balance resultante:

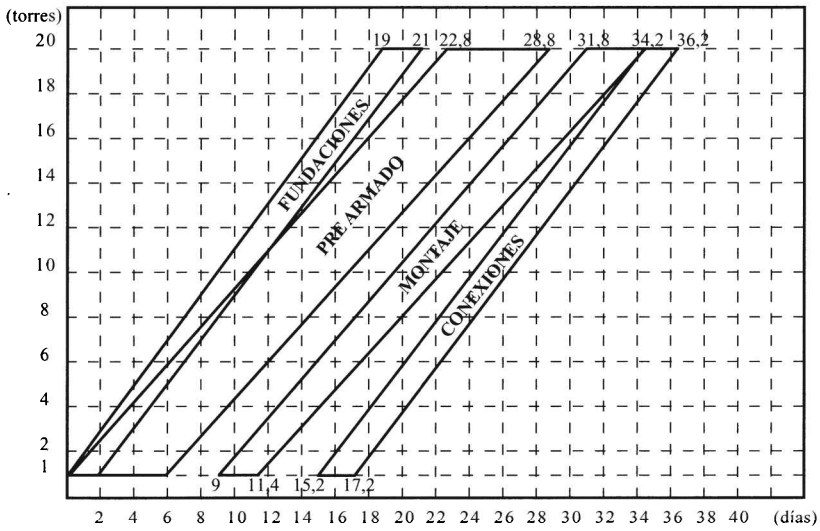


Figura 5.10 Ejemplo

El método del Gráfico de Velocidad es muy similar al de las líneas de balance. La técnica consiste en graficar todas la actividades mostrando el progreso planeado versus tiempo. En el caso del Gráfico de Velocidad, la pendiente de las líneas representa la velocidad de progreso de las actividades.

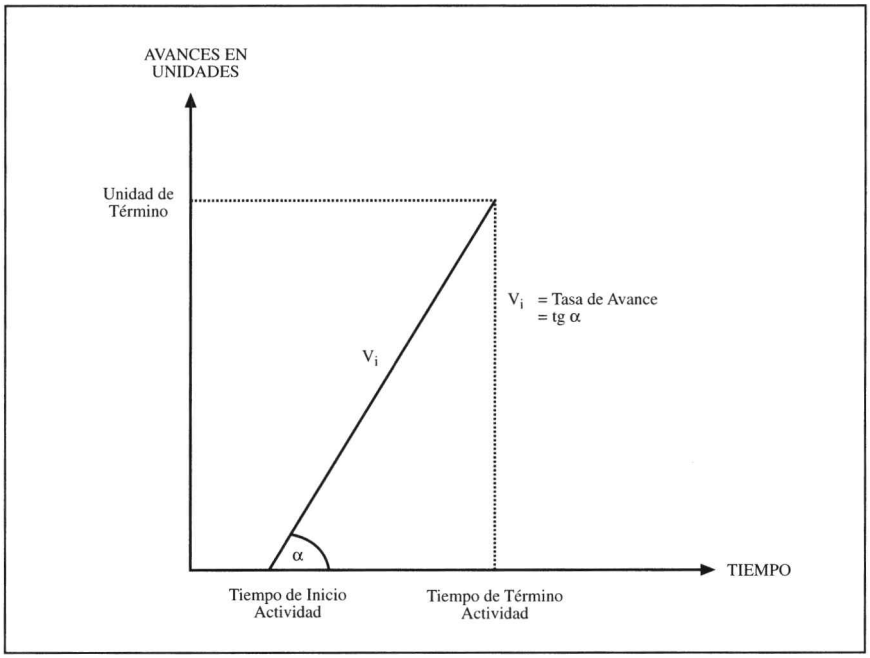


Figura 5.11 Modelo de Gráfico de Velocidad.

5.2.2 Aplicación del Método del Gráfico de Velocidades

En la programación de la repavimentación de un camino de 10 km. de longitud, se dispone de la siguiente información:

- Existe un camino alternativo.
- Las actividades se realizarán desde un solo frente, partiendo del kilómetro 0.
- La obra comenzará con la actividad Instalación de Faenas, la cual considera una duración total de 2 semanas.
- A la semana después de iniciada la Instalación de Faenas, se comenzará con la Remoción del Pavimento Antiguo. Esta actividad considera un rendimiento estimado de 4 km. por semana.
- La Limpieza y Despeje de la Faja considera un rendimiento estimado de 5 km. por semana y no podrá comenzar hasta que se haya removido un mínimo de 1000 m. del pavimento antiguo. Se considera continuidad obligada para esta actividad.

- La actividad Base Estabilizada considera un rendimiento estimado de 2 km. por semana y deberá considerar una cancha mínima de 1 km. con la Limpieza y Despeje de la Faja.
- La Carpeta de Rodado se comenzará a colocar una semana después de comenzada la Base, con un rendimiento estimado de 2 km. por semana. Se deberá mantener un desfase de 1 semana con la actividad de Base estabilizada en todo momento. Se estima que el camino podrá ser abierto al tránsito 2 semanas después de terminada esta actividad.
- Por razones de financiamiento y de utilización de recursos, se suspenderán los trabajos durante la quinta semana, reanudando los trabajos en la sexta semana.

A partir de estos datos se confeccionó el Gráfico de Velocidades correspondiente al programa de esta obra, el cual se ilustra a continuación:

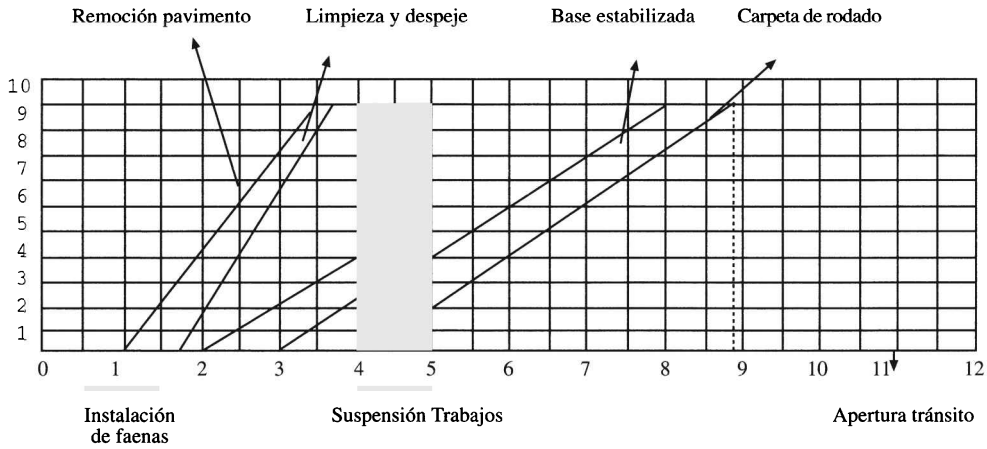


Figura 5.12 Ejemplo gráfico de velocidad.

5.3 Resumen

La programación rítmica es una técnica que se utiliza en proyectos que son de naturaleza repetitiva o para aquellas partes de un proyecto que lo sean. El objetivo de la programación rítmica es lograr un proceso continuo similar a la producción en serie, para unidades iguales de obra.

Finalmente, los métodos de Líneas de Balance y Gráfico de Velocidad son utilizados para la programación de obras repetitivas, tales como repavimentación de caminos, conjunto de viviendas iguales, edificación en altura y obras de construcción en serie en general. El propósito de estas técnicas es balancear la velocidad de avance de todas las actividades de modo de eliminar las interferencias entre ellas.

5.4 Ejercicios

Conceptos

1. Indique y explique los cuatro conceptos básicos de la programación rítmica.
2. Cuáles son las ventajas y desventajas de programar y/o controlar la construcción de un edificio de 10 pisos (destinado a vivienda) con los siguientes métodos:

   a) Precedencia Modificado.
   b) Programación Rítmica.
   c) Gráfico de Velocidades.
3. ¿En qué condiciones y con qué objetivos usted aplicaría programación rítmica a una obra cualquiera?
4. En una obra repetitiva. ¿Cómo se consideran los efectos de la organización de faena y del aprendizaje por repetitividad de la obra?
5. Se requiere construir 20 casas para los ingenieros que estarán a cargo de la construcción de una central hidroeléctrica. Debido a la estrechez del plazo de construcción, alguien hace la siguiente proposición :

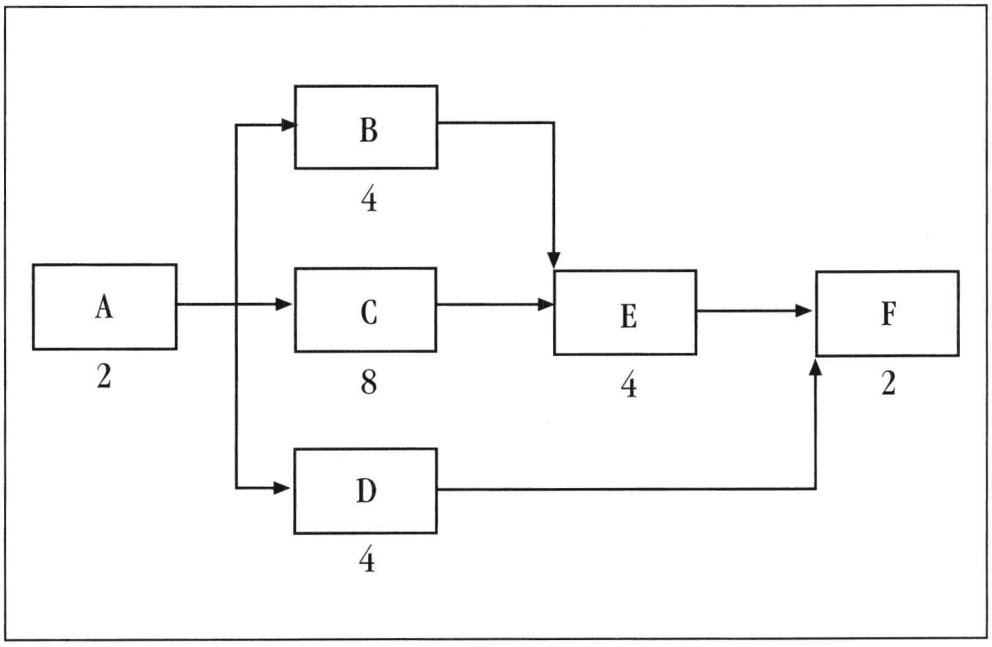
   «Que se hagan las casas en dos grupos de a diez simultáneamente y así se disminuirá el plazo de construcción a la mitad».

   Si el programa está propuesto por un ritmo bien estudiado, responda a la proposición y justifique su respuesta.
6. Haga un gráfico sencillo de una planificación lineal, explicando los siguientes elementos:

   a) Holgura de término y de inicio.
   b) Holgura en tiempo.
   c) Holgura en avance.
7. ¿Cuáles son los diferentes tipos de holgura en un sistema de gráfico de velocidad? ¿Por qué o cómo se producen estas holguras?

Problemas

1. La siguiente malla representa la construcción de una unidad de una obra repetitiva. Las duraciones de las actividades están expresadas en días.



a) Calcular la duración de un proyecto que considera 100 unidades, con Ritmo = 2 días.

b) Dibujar la carta Gantt dentada para un proyecto que considera 10 unidades con Ritmo = 4 días, optimizando la utilización de recursos. Indicar la duración para este caso a partir del gráfico (usar duraciones en ritmos).

c) Dibujar el gráfico de velocidades correspondiente a su programa en punto b (usar duraciones en ritmos).

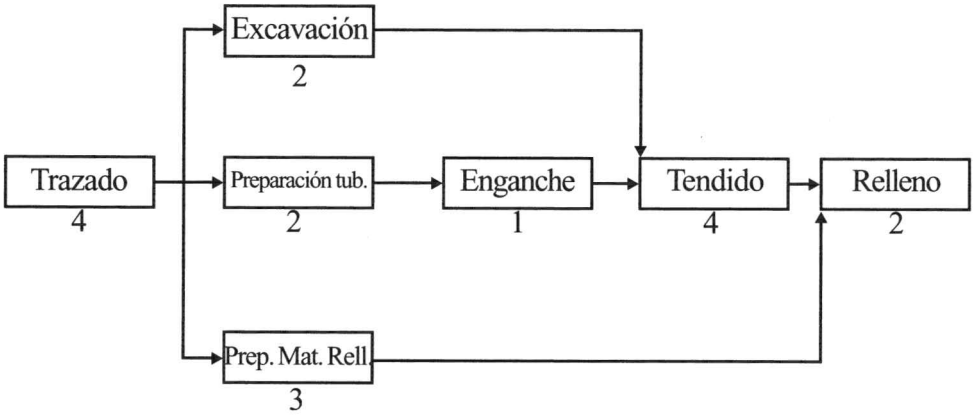
2. En la programación de una obra repetitiva usted tiene los siguientes antecedentes:

Ritmo	:	2 días
Nº de Operaciones	:	10
Nº de Unidades	:	20 casas
Duración Solicitada	:	30 días.

A partir de estos datos determinar:

a) Número de frentes de trabajo necesarios para cumplir con el plazo solicitado.
b) Número de unidades por cada frente de trabajo.
c) Duración total programada.

3. Ud. debe planificar una obra consistente en el tendido de tuberías con una longitud total de 12 km. La malla de precedencia para un kilómetro se indica a continuación (duraciones en días):



Cada actividad se realizará con una cuadrilla propia.

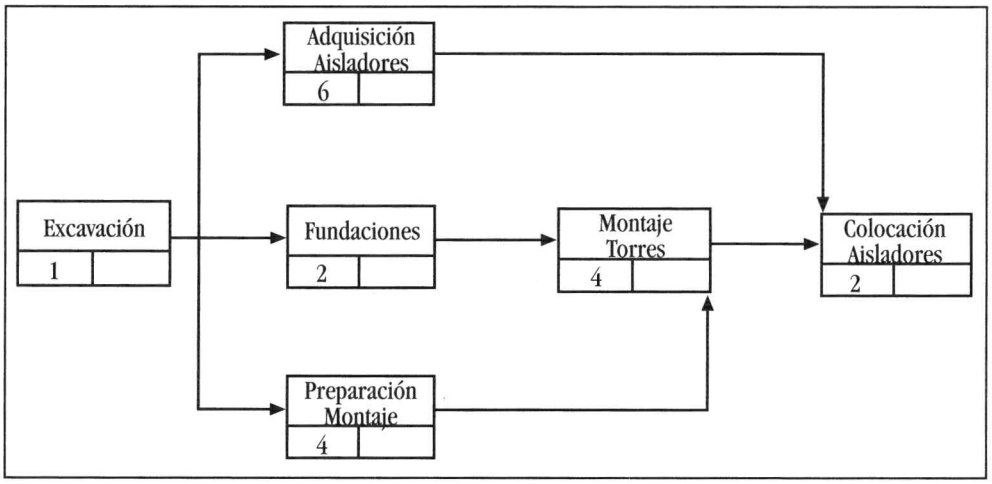
a) Dibujar carta Gantt dentada para R=2. (Usar R como unidad de tiempo).

b) Calcular duración total de la obra para el ritmo indicado, indicando la cantidad de tiempos muertos que se producen en días.

c) Calcular la duración total de la obra para R=1.

d) Dibujar el programa de trabajo utilizando el sistema de planificación lineal para R=4 y considerando que no se podrá trabajar desde el día 4 al día 7 inclusive, y desde el día 22 al día 26 inclusive. Asumir además que existe una actividad de Instalación de faenas, que se debe iniciar antes del trazado y tiene una duración de 8 días. ¿Cuál es la duración total en este caso?

4. Usted tiene la malla mostrada a continuación, que representa el plan de construcción de una torre de alta tensión:



a) Dibujar la carta Gantt dentada para N =10 unidades y R =2 semanas.

b) ¿Cuál es la duración total de la obra?

c) Suponiendo que cada cuadrilla de cada operación tiene un costo total para la empresa de $ 150000/semana, y además los gastos generales más los costos indirectos de obra son $ 250000/semana, ¿Cuál es el costo total de la construcción?

d) Si R=1 semana: ¿Cuál es la duración total de la obra? ¿Cuál es el costo total de construcción? Comparar los resultados obtenidos en b) y c), y explicar las razones de las variaciones en la duración y el costo entre el caso de R = 2 y el caso de R= 1, indicando el comportamiento de cada una de las variables involucradas.

5. Suponga que Ud. debe realizar un proyecto de construcción de un camino de 20 km. de longitud, para lo cual ha decidido usar el sistema de planificación de gráfico de velocidad. Los antecedentes disponibles para la planificación son los siguientes:

- La Instalación de Faenas es la primera actividad a realizar, y tiene una duración de 4 semanas.
- La obra se realizará en dos frentes, comenzando desde el inicio (km. 0) hasta el kilómetro 10 y desde el término (km. 20) hasta unirse con el otro frente (km. 10).
- La actividad Excavaciones puede comenzar 2 semanas después del inicio de la instalación de faenas, y tiene un ritmo de 1 km./semana.
- La actividad Escarpe y Limpieza de la Faja tiene una velocidad de 2 km./sem. y debe mantener en todo momento, una cancha de 1 km. con la actividad Excavaciones.
- Una semana después del inicio del escarpe, puede comenzar la actividad de Subbase, la que tiene una velocidad de avance de 3 km. por semana. En todo momento se debe mantener una holgura de 1 semana con la actividad anterior. Esta actividad se realizará con sólo una cuadrilla, la que trabajará en los dos frentes en forma alternada por una longitud de 5 km. cada vez.
- La actividad Base puede comenzar una vez que la Subbase haya avanzado 2 km. Esta actividad se va a realizar con una velocidad de 1 km. por semana.
- Una vez terminada la Subbase, se procederá a la Construcción de un Puente, cuya duración es de 12 semanas.
- La actividad de Pavimentación comenzará sólo una vez que haya terminado la Construcción del Puente, y se ejecutará a una velocidad de 2 km./semana, debiendo mantener en todo momento una cancha mínima de 2 km. con la actividad de Base.

- Por razones de clima, se espera que no se podrá trabajar durante las semanas 14, 15 y 16.

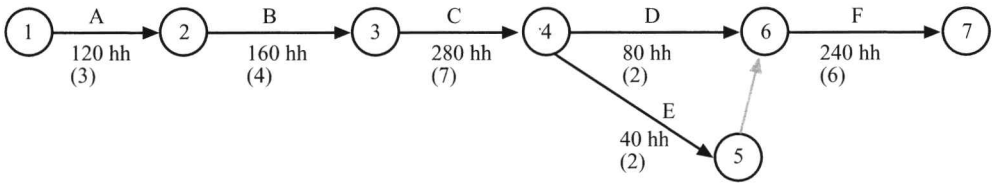
- Una vez terminada la Pavimentación, se deberá esperar una semana antes de ocupar el camino.

  Dibujar el gráfico de velocidad correspondiente a la planificación de la obra, e indicar la fecha (en semanas) en que se dará acceso a la obra.

6. El plan de trabajo para la construcción de una casa está representado por la malla de la figura. Los números entre paréntesis indican el tamaño óptimo de cada cuadrilla. Preparar una carta de línea de balance para un contrato de 30 casas, usando una velocidad de construcción de 4 casas por semana. Asumir una holgura mínima de 5 días entre cada actividad y semanas de 5 días con 8 horas de trabajo cada uno.

a) ¿Cuál es la duración total del proyecto?

b) Si la actividad C utiliza un andamio en su ejecución, indique el número de andamios necesarios para la actividad.



VI.
ANÁLISIS DE RECURSOS

6.1 Introducción

En general, cuando se calcula la duración de un proyecto y los distintos parámetros de las actividades que lo componen, no se consideran las restricciones de recursos que pueden existir. En la práctica, sin embargo, la ejecución de un proyecto requiere la utilización de varios recursos, cuya disponibilidad normalmente limitada, puede producir un impacto directo sobre la duración del proyecto. Será entonces uno de los objetivos más importantes de la planificación lograr una eficiente utilización y un buen manejo de los recursos. La idea es desarrollar y utilizar técnicas para el análisis y la programación de éstos de manera de optimizar su uso para así mejorar los rendimientos y la calidad.

En el área de la construcción existen muchos recursos los cuales pueden ser usados para muchas actividades, y éstos se pueden clasificar de la siguiente manera:

- **La Mano de Obra:** este recurso se podría determinar como el más crítico si pensamos que un gran porcentaje del valor total de la obra está asociado a este recurso y que una mala utilización de éste podría implicar un aumento importante en los costos del proyecto. Esto se hace más crítico aún en proyectos en que el lugar donde se realizan los trabajos está muy apartado de centros poblados, teniendo que recurrir al traslado de grandes cantidades de obreros o establecer poblados flotantes o campamentos, con el consiguiente aumento en los costos que esto implica.
- **Los Materiales:** estos recursos son esenciales para lograr avances en un proyecto. El tipo y la cantidad de materiales adecuados podrían no estar disponibles en el momento en que se les necesite quizás debido sólo a un error de comunicación, con consecuencias desastrosas para la obra. Existen contratos en que el mandante

provee los materiales en obra, otros en que el contratista es el encargado del pedido y del almacenaje de éstos, y otros en que la responsabilidad de los materiales es compartida.

- **Las Maquinarias:** la falta de maquinarias de construcción, ya sea por capacidad o tipo adecuado o por cantidad insuficiente puede ser perjudicial para un avance adecuado del proyecto. Este problema se soluciona llevando una programación de la maquinaria de modo que permita adelantarse al momento en que va a ser necesaria y así poder disponer de ella en el momento preciso. Además este es un recurso que se vuelve muy crítico debido a su alto costo. Esto justifica de nuevo el tener una excelente planificación para la utilización de la maquinaria, de modo que se eviten períodos ociosos de éstas, incrementándose así su costo de utilización.
- **Los Recursos Financieros (capital de trabajo):** en general el contratista debe pagar los materiales antes de que se le hayan pagado a él las obras correspondientes a la utilización de dichos materiales. Además él debe pagar a sus obreros por el trabajo que han ido realizando (esto puede ser semanal, quincenal o mensualmente). La diferencia entre ingresos acumulados y los gastos acumulados del proyecto determinan el flujo de caja del proyecto. Si el flujo de caja es negativo el contratista deberá contar con una cantidad de dinero suficiente como para cubrir dicha diferencia; a esta cantidad de dinero se le denomina capital de trabajo de la obra. Este tema se tratará con detalle en el capítulo siguiente.

Existen también otros recursos de gran importancia como son el espacio, el conocimiento, la experiencia, el tiempo, el dinero y las instalaciones. Un proyecto podrá ser completado de acuerdo a un cierto plan, siempre y cuando cuente con los recursos necesarios para cumplir con lo que ha sido estimado. El análisis que compara estos requerimientos con los recursos realmente disponibles, corresponde al estudio de factibilidad física del plan del proyecto. En la mayoría de los proyectos, los recursos son limitados y, por lo tanto, imponen restricciones en la programación de las actividades. La asignación y análisis eficiente de recursos es entonces una parte esencial de la planificación y determinante en el éxito o fracaso del proyecto.

La disponibilidad de recursos es impuesta sobre la duración de un programa en dos condiciones:

- **Recursos limitados (duración variable del proyecto):** sucede cuando la disponibilidad de recursos es limitada y por lo tanto es necesario evaluar el impacto de esta restricción en la duración del proyecto. Un ejemplo de esta limitación puede ser la mano de obra o maquinaria, entre otros.
- **Recursos ilimitados (duración fija):** no existen problemas de restricción de recursos, pero interesa determinar el nivel óptimo de recursos que permita cumplir con la fecha deseada. Un ejemplo de esto puede ser arena necesaria para una obra que pueda ser extraida libremente del lecho de un río cercano.

Otra clasificación de los recursos se origina por sus características propias, que son de suma importancia. Entre estas características están:

- el almacenamiento, dependiendo si los recursos son o no almacenables.
- la intensidad de uso, dependiendo si el recurso se usa de manera continua o en ciclos o turnos.
- la complejidad del recurso, que es simple en caso de que éste pueda ser subdividido en recursos más pequeños o unidades básicas, o complejo en caso contrario.
- la prioridad ya que algunos recursos tiene una notoria mayor importancia sobre otros.

Con el análisis de los recursos se pretende ser capaces de determinar los períodos y niveles de utilización de los recursos para que éstos puedan ser programados y así completar el plan. También se pretende modificar un programa inaceptable desde el punto de vista de recursos en uno factible y eficiente ya que, por ejemplo, se puede pretender levantar un edificio en unos pocos meses pero puede resultar que algunos de los materiales a utilizar no estén disponibles en el minuto necesario y así, se requerirá alargar o aplazar la duración del proyecto. Otro objetivo del análisis es reducir los niveles de fluctuación de la demanda de recursos, o sea usarlos de manera pareja y no todos a la vez.

Para poder tener una visión gráfica de la distribución en el tiempo de la intensidad de uso de los recursos (tiempo v/s nivel de recursos) dentro de un proyecto se determinan las curvas de recursos. Así, en estos gráficos podemos ver directamente cuáles y cuántos de los recursos están siendo utilizados en un período determinado de la obra. Para obtener esta curva se deben seguir los siguientes pasos (ver ejercicio fig. 6.1):

1. Realizar la programación del proyecto en una carta Gantt (para las fechas más tempranas).
2. Asignar a cada actividad del proyecto la cantidad de unidades de cada recurso que deben ocuparse para desarrollar dicha actividad.
3. Para cada período de tiempo sumar la cantidad total de cada recurso que se utilizará para poder desarrollar todas las actividades programadas para dicho período.
4. Con las cantidades de recursos obtenidas por períodos, dibujar un histograma (gráfico de barras) para cada recurso con la cantidad de recursos v/s período de tiempo. Este gráfico corresponde al nivel de recursos para las fechas más tempranas.

Esta secuencia se explica gráficamente en el siguiente ejemplo:

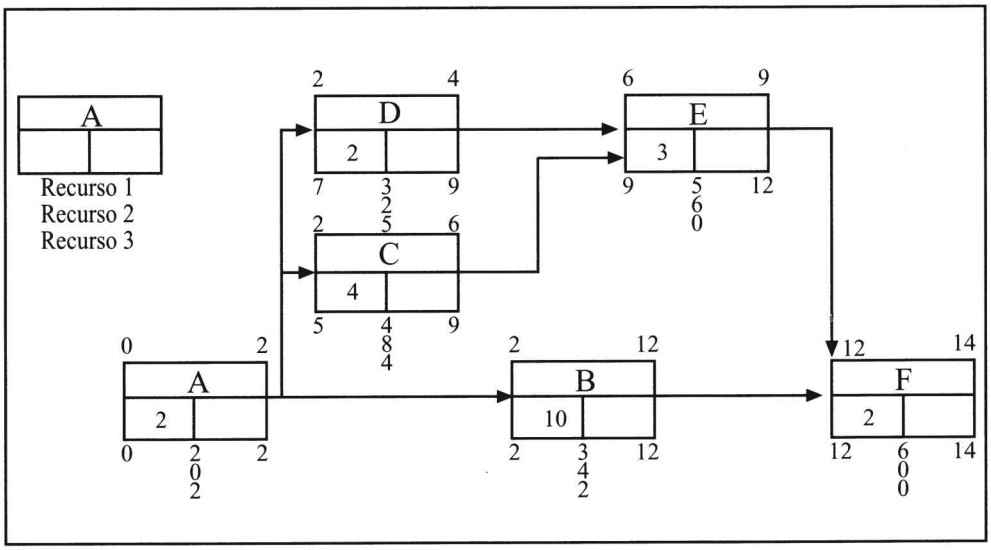


Figura 6.1.a Ejercicio.

Carta Gantt. Nivel de Recursos para las Fechas más Tempranas

ACTIVIDADES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
A														
B														
C														
D														
E														
F														
Total recurso 1	2	2	10	10	7	7	8	8	8	3	3	3	6	6
Total recurso 2	0	0	14	14	12	12	10	10	10	4	4	4	0	0
Total recurso 3	2	2	11	11	6	6	2	2	2	2	2	2	0	0

Figura 6.1.b Carta Gantt.

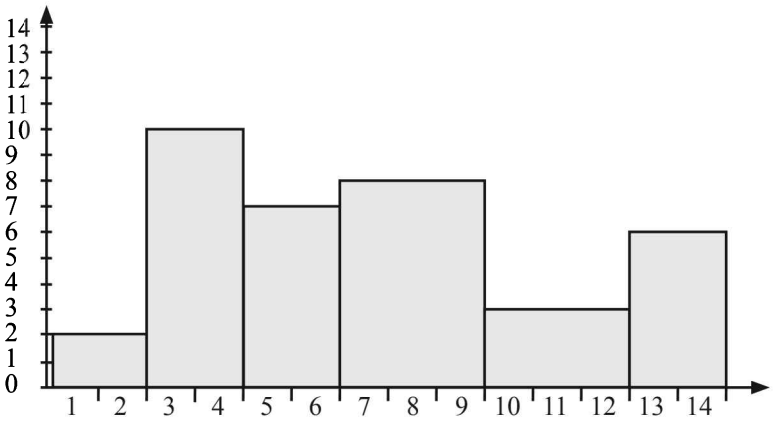


Figura 6.1.c Histograma para el Recurso 1 (Fecha más Temprana).

Como es lógico suponer, también es posible determinar la misma curva para las fechas más tardías. El procedimiento es el mismo exceptuando que la Carta Gantt debe corresponder a las fechas más tardías. En la figura 6.1.d a continuación, se determina la curva de los recursos para el programa del proyecto en el caso de hacer trabajar a todas las actividades en sus fechas más tardías.

Nivel de Recursos para las Fechas más Tardías:

UNIDADES DE TIEMPO

ACTIVIDADES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
A														
B														
C														
D														
E														
F														
Total recurso 1	2	2	3	3	3	7	7	10	10	8	8	8	6	6
Total recurso 2	0	0	4	4	4	12	12	14	14	10	10	10	0	0
Total recurso 3	2	2	2	2	2	6	6	11	11	2	2	2	0	0

Figura 6.1 d Carta Gantt fechas más tardías.

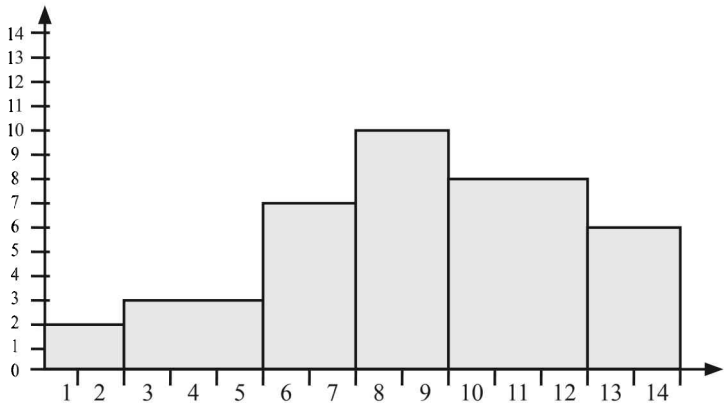


Figura 6.1.e Carta Gantt e Histograma para el Recurso 1 (Fecha más Tardía).

Comparando los dos histogramas, es posible apreciar el efecto que produce desplazar las actividades no críticas, usando la holgura de que disponen. Este efecto es la base del proceso de nivelación de recursos, y permite determinar la posición más eficiente de las actividades, de manera de minimizar los requerimientos máximos de recursos por unidad de tiempo para el proyecto.

Otra curva que siempre es recomendable realizar es la de recursos acumulados (fig. 6.2). En ella se ve la acumulación de cada recurso con respecto al tiempo y debe incluir el nivel acumulado tanto de las fechas más tempranas como la de las más tardías.

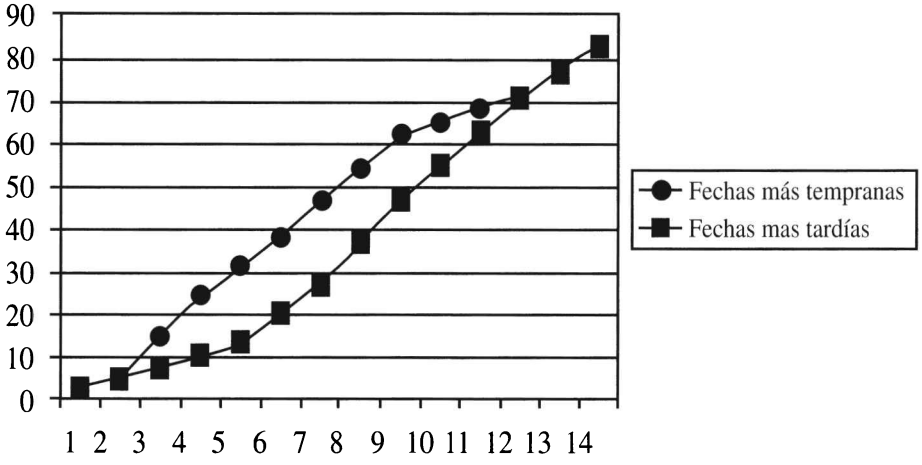


Figura 6.2 Curva de recursos acumulados para el recurso 1.

6.2 Nivelación y Asignación de Recursos

Tal como se dijo al principio del capítulo, cuando se determina la planificación inicial de un proyecto de construcción en general se asume que no existen limitaciones de recursos, ya que lo que importa durante dicha parte del proceso es obtener el plan y el programa del proyecto. Aún cuando esta suposición puede ser válida en algunos casos, claramente no lo es para todos y la mayoría de los administradores de proyectos se ven enfrentados al problema de una disponibilidad limitada de recursos.

Diremos entonces que l**a disponibilidad de recursos controla la duración, costo y la continuidad de avance en cualquier proyecto.** En la figura 6.3 se ve el modelo de análisis de disponibilidad de recursos

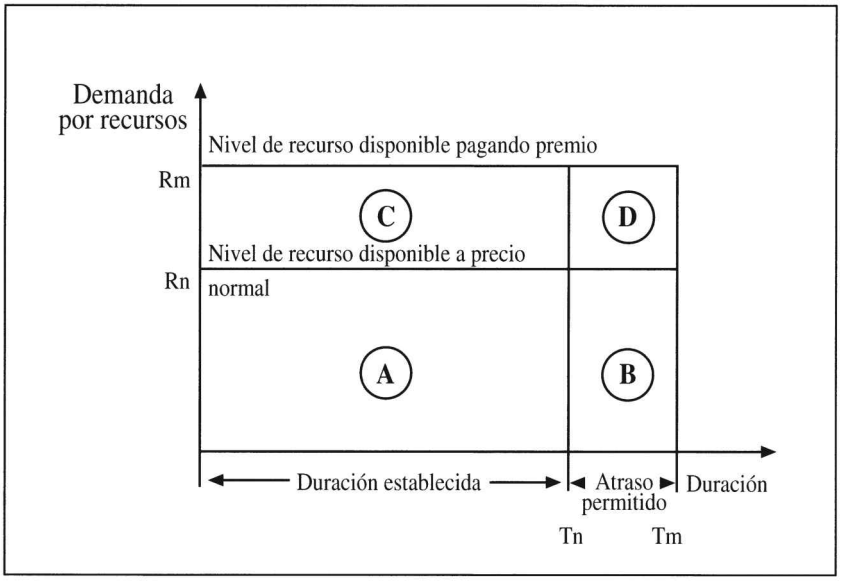


Figura 6.3 Análisis de Recursos.

Este tipo de análisis debe realizarse para cada recurso crítico del proyecto, sin embargo, para proyectos de tamaño relativamente grande y que contienen un número considerable de actividades, este análisis no es posible de realizarse sin contar con la ayuda de un computador.

Cuando se enfrenta una situación en que la duración es muy restrictiva, la posibilidad de optimizar la utilización de recursos se restringe a la acción de nivelar la demanda programada de ellos. Además, la nivelación de recursos tiene por objeto reducir las fluctuaciones en las demandas por recursos por unidad de tiempo, con el propósito de minimizar los costos asociados a la utilización de los mismos.

El objetivo de la nivelación será entonces lograr la utilización más eficiente de los recursos reduciendo las demandas máximas y nivelando los requerimientos sin alterar la duración del proyecto. Esto se grafica en la figura 6.4 a continuación.

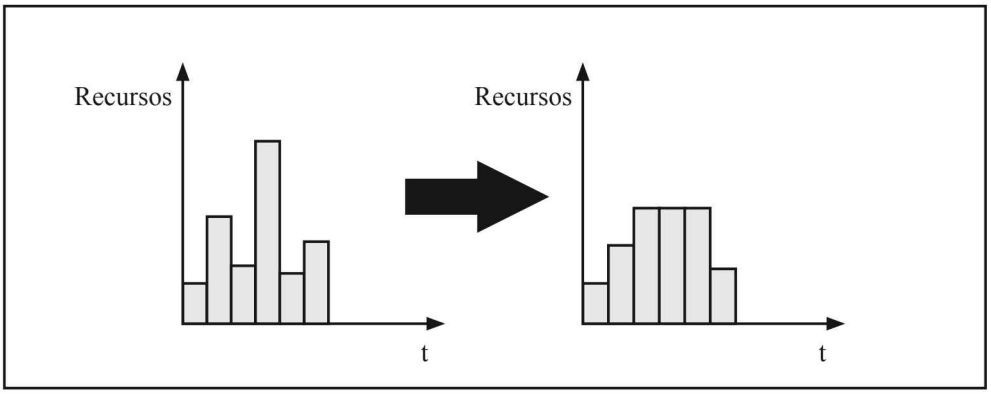


Figura 6.4 Objetivo de la Nivelación de Recursos.

Para cumplir estos propósitos, se han planteado una serie de funciones objetivo, como las que se indican a continuación, que intentan medir el grado de éxito durante el proceso de nivelación. Las funciones objetivos más usadas, referidas a un perfil de uso de recursos como el indicado en la figura 6.5, son las siguientes:

- Minimización de las desviaciones absolutas
- Minimización de las desviaciones positivas
- Minimización de las desviaciones absolutas de la demanda media
- Algoritmo de Burgess donde $V = \sum z_i^2$ y z_i es la demanda de recursos del período i.

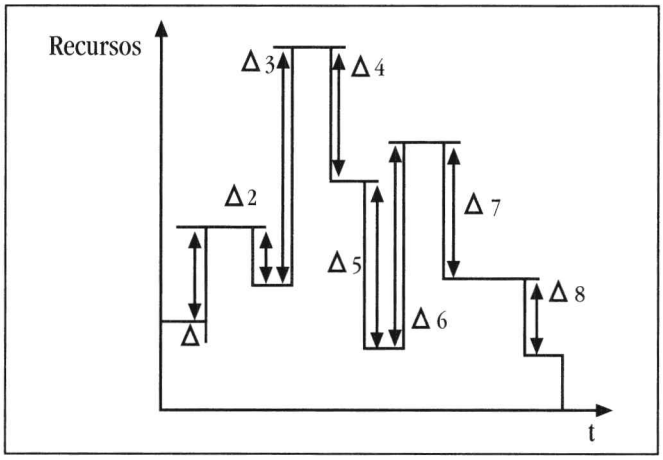


Figura 6.5 Variaciones en el Uso de Recursos.

Para nivelar los recursos será útil seguir los siguientes pasos:

1. Computar la malla y obtener el cronograma del programa del proyecto.
2. Ordenar las actividades por grado de precedencia y por holgura o flotamiento.
3. Preparar la carta Gantt con las fechas más tempranas.
4. Calcular los requerimientos diarios del recurso utilizado.
5. Calcular la función objetivo V.
6. Desplazar en una unidad de término aquella actividad que tenga una mayor holgura y que esté más cerca del término del proyecto.
7. Calcular la función objetivo V después de la modificación.
8. Comparar V nuevo con V antiguo.

Este procedimiento se repite todas las veces que sea necesario, hasta que se alcance el valor mínimo de la función objetivo V.

Una situación especial corresponde a la asignación de recursos en condiciones de restricción. Esto ocurre cuando se desea que el programa de trabajo no sobrepase una disponibilidad de recursos deseada.En este caso se tendrá que tener en cuenta que se trata de un problema difícil y de gran magnitud y se tendrá que analizar que se puede hacer v/s. que se debe hacer. La idea es encontrar la duración más corta dado un nivel fijo de recursos disponibles y es en casos como éste en que la experiencia ayuda enormemente en la solución del problema. Es por esto que el análisis debe centrarse en aquellos recursos claves existiendo para esto dos procedimientos de asignación, los *óptimos o analíticos* y los *heurísticos.* En la tabla 6.1 se ven las reglas heurísticas de asignación de recursos.

Tabla 6.1 Reglas Heurísticas de Asignación de Recursos.

Regla Heurística	Asignación de Prioridad
1. Holgura Mínima (MINSLK)	Se asigna prioridad a actividad con holgura mínima
2. Método de Programación de Recursos (RSM)	Se da prioridad a la actividad cuya precedente tiene la mínima holgura total
3. Mínima Fecha Tardía de Término (LFT)	Se asigna prioridad a actividad con menor fecha tardía de término
4. Mayor Utilización de Recursos (GRU)	Se da prioridad a la combinación de actividades con mayor uso de recursos en cada intervalo de tiempo
5. Mayor Demanda de Recursos (GRD)	Prioridad se basa en demanda total de recursos de todo tipo
6. La Operación más Corta (SIO)	Se da prioridad a la actividad de menor duración
7. La Mayor Cantidad de Trabajo	Se da prioridad a la combinación con la mayor cantidad de actividades en operación en cualquier intervalo
8. Selección Aleatoria de Trabajos	Se seleccionan actividades en forma aleatoria

En caso de tener que asignar recursos limitados será conveniente seguir los pasos indicados en la figura 6.6 a continuación.

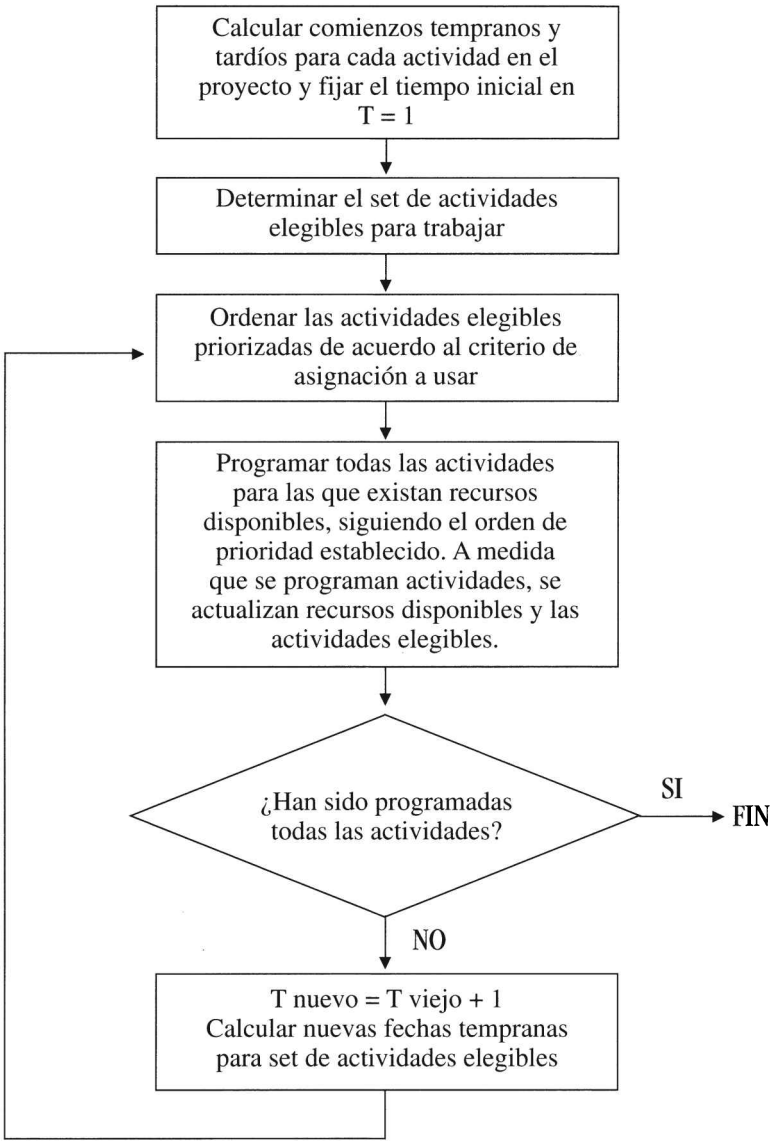


Figura 6.6 Procedimiento de asignación de recursos limitados.

Para clarificar todos estos conceptos y métodos recién aprendidos se propone el siguiente ejercicio resuelto:

Para el proyecto indicado en la figura 6.7 se requiere asignarle los recursos con que se cuenta para hacerlo. Los recursos son limitados y sólo se cuenta con **5 unidades** por período de tiempo. Además suponemos que la actividad C y la actividad D tienen continuidad obligada.

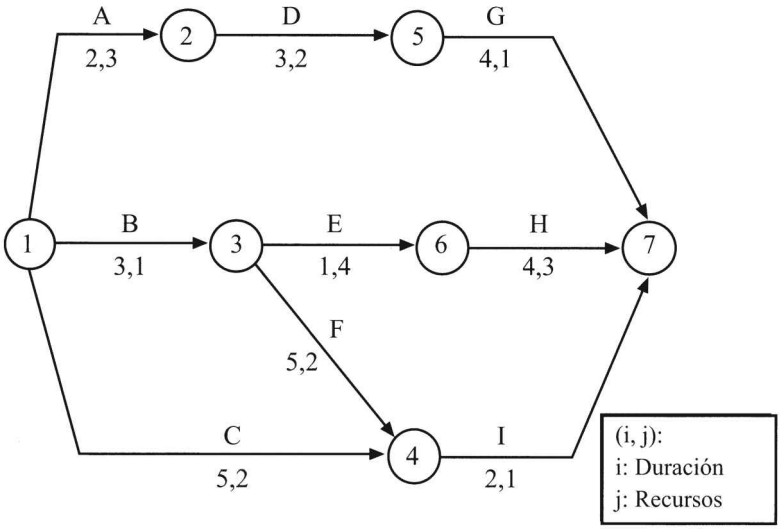


Figura 6.7

Para asignar los recursos se procede como se señalaba en el diagrama de flujo mostrado anteriormente, calculando los comienzos de las actividades:

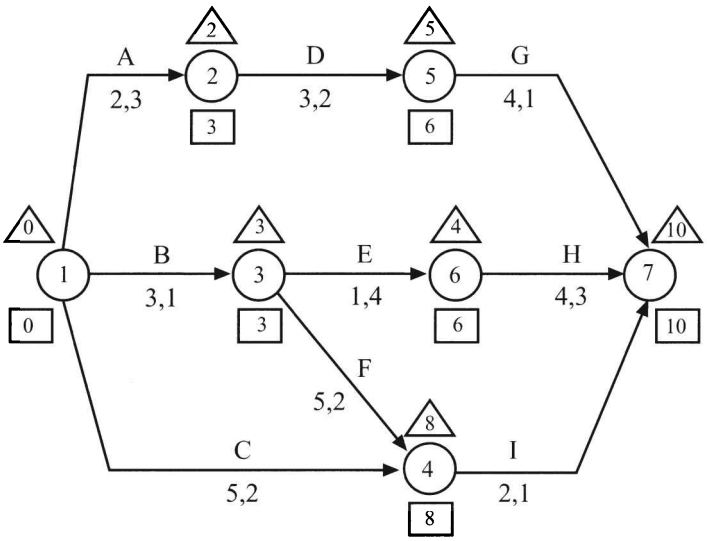


Figura 6.8

Como primer paso es necesario calcular la malla, como se muestra en la figura 6.8, y obtener así los valores de las fechas más tardías y más tempranas de cada actividad. Con esto es posible calcular la holgura total (Ht) para todas las actividades. Éstas se utilizarán para priorizar las actividades elegibles para cada período, cuando se inicie la asignación de recursos.

Empezando la asignación de recursos se debe construir una tabla como la tabla 6.2, en la que se anotan la duración, los recursos y la holgura de cada actividad.

Tabla 6.2

Actividad	Duración	Recursos	Ht
A	2	3	1
B	3	1	0
C	5	2	3
D	3	2	1
E	1	4	2
F	5	2	0
G	4	1	1
H	4	3	2
I	2	1	0

Seguido a este paso se debe construir una tabla (con el formato de la tabla 6.3) en que se debe seleccionar el período en que se está, las actividades factibles de trabajar, y sus respectivos tiempos y holguras.

Tabla 6.3

Período	Actividades Elegibles	Te	Ht	Rd	Rdisp	Actividades que trabajan	Tr	Hta
1	X	2	0	1	4	x	1	0
	Y	1	1	4	3		1	0
	...							
2	...							
...								

Para entender de mejor manera estos procesos se explicará con más detalle como calcular los cuatro primeros períodos del ejemplo señalado.

Período 1:

- Se determina que para este período las actividades elegibles son tres, y según su holgura están priorizadas como B, A, C.

- Las columnas Te, Ht, Rd se llenan con los datos iniciales de estas actividades.
- Para cada período tenemos 5 unidades de recursos disponibles para realizar el trabajo, por esto en la primera fila de la columna Rdisp colocamos el valor 5. En la segunda fila (actividad A) colocamos los recursos que quedan para trabajar (5-1=4); para la actividad C lo mismo.
- Como para realizar la actividad C queda sólo una unidad de recurso, ésta no puede trabajar. Por lo tanto en la columna Actividades que Trabajan, indicamos que trabajan la actividad B y la A.
- Como B y A trabajaron, en la columna Tr (tiempo remanente) se baja el valor de Te para cada una de estas actividades en una unidad.
- En Hta si las actividades trabajan no se modifica el valor que hay en Ht, sino se disminuyen en una unidad, tal como ocurre con la actividad C.

Período	Actividades Elegibles	Te	Ht	Rd	Rdisp	Actividades que trabajan	Tr	Hta
1	B	3	0	1	5	B	2	0
	A	2	1	3	4	A	1	1
	C	5	3	2	1		5	2

Período 2:
Aquí se procede igual que en el período 1, pero en las columnas de Te y Ht, se colocan los valores de Tr y Hta del período anterior. Como la actividad A llega a valor 0 en Tr, en el próximo período ya no trabaja.

Período	Actividades Elegibles	Te	Ht	Rd	Rdisp	Avtividades que trabajan	Tr	Hta
1	B	3	0	1	5	B	2	0
	A	2	1	3	4	A	1	1
	C	5	3	2	1		5	2
2	B	2	0	1	5	B	1	0
	A	1	1	3	4	A	/	1
	C	5	2	2	1		5	1

Período 3:
Como se terminó la actividad A, puede empezar a trabajar la actividad D. Luego las actividades elegibles serán B, C, D.

Período	Actividades Elegibles	Te	Ht	Rd	Rdisp	Avtividades que trabajan	Tr	Hta
2	B	2	0	1	5	B	1	0
	A	1	1	3	4	A	/	1
	C	5	2	2	1		5	1
3	B	1	0	1	5	B	/	0
	C	5	1	2	4	C	4	1
	D	3	1	2	2	D	2	1

Período 4:
Como termina la actividad B, puede empezar a trabajar la actividad F. Como ésta es la que tiene menor holgura (0) debería ser la primera en trabajar en este período. No ocurre así, porque las actividades C y D tienen continuidad obligada y si trabajara la actividad F, la actividad D dejaría de realizarse. Por esto se deja que la actividad F empiece a trabajar en otro período.

Período	Actividades Elegibles	Te	Ht	Rd	Rdisp	Avtividades que trabajan	Tr	Hta
3	B	1	0	1	5	B	/	0
	C	5	1	2	4	C	4	1
	D	3	1	2	2	D	2	1
4	F	5	0	2			5	-1
	C	4	1	2	5	C*	3	1
	D	2	1	2	3	D*	1	1
	E	1	2	4	1		1	1

De esta manera se procede hasta concluir la totalidad del proyecto. La nueva duración del proyecto quedará determinada por la actividad que se atrase más días después de ocupada su holgura (si es que tenía). Además en el mismo cuadro la duración está indicada por el número de períodos que se han necesitado para terminar todas las actividades.

En la tabla 6.4 se muestra el procedimiento completo para este ejercicio.

Período	Actividades Elegibles	Te	Ht	Rd	Rdisp	Actividades que trabajan	Tr	Hta
1	B	3	0	1	5	B	2	0
	A	2	1	3	4	A	1	1
	C	5	3	2	1		5	2
2	B	2	0	1	5	B	1	0
	A	1	1	3	4	A	/	1
	C	5	2	2	1		5	1
3	B	1	0	1	5	B	/	0
	C	5	1	2	4	C	4	1
	D	3	1	2	2	D	2	1
4	F	5	0	2			5	-1
	C	4	1	2	5	C*	3	1
	D	2	1	2	3	D*	1	1
	E	1	2	4	1		1	1
5	C	3	1	2	5	C*	2	1
	D	1	1	2	3	D*	/	
	F	5	-1	2	1		5	-2
	E	1	1	4			1	0
6	C	2	1	2	5	C*	1	1
	F	5	-2	2	3	F	4	-2
	E	1	0	4	1		1	-1
	G	4	1	1		G	3	1
7	C	1	1	2	5	C*	/	1
	F	4	-2	2	3	F	3	-2
	E	1	-1	4	1		1	-2
	G	3	1	1		G	2	1
8	F	3	-2	2	5	F	2	-2
	E	1	-2	4	3		1	-3
	G	2	1	1	2	G	1	1
9	F	2	-2	2	5	F	1	-2
	E	1	-3	4	3		1	-4
	G	1	1	1	2	G	/	1
10	F	1	-2	2	5	F	/	-2
	E	1	-4	4	3		1	-5
11	E	1	5	4	5	E	/	-5
	I	2	-2	1	1	I	1	0
12	I	1	-2	1	4	I	/	0
	H	4	-5	3	1	H	3	-5
13	H	3	-5	3	5	H	2	-5
14	H	2	-5	3	5	H	1	-5
15	H	1	-5	3	5	H	/	-5

6.3 Resumen

Finalizado este capítulo el alumno deberá dominar los temas de análisis, nivelación y asignación de recursos. Deberá saber también que los recursos mal distribuidos o escasos pueden limitar un proyecto y será entonces necesario e imprescindible disponer de los recursos necesarios en el lugar y el momento preciso. En caso de que los recursos sean limitados será necesario programarlos para que su uso sea el óptimo y así el proyecto sea exitoso. En muchas ocasiones, la limitación de recursos puede provocar un aumento de la duración de la obra. La idea en este caso es minimizar este aumento.

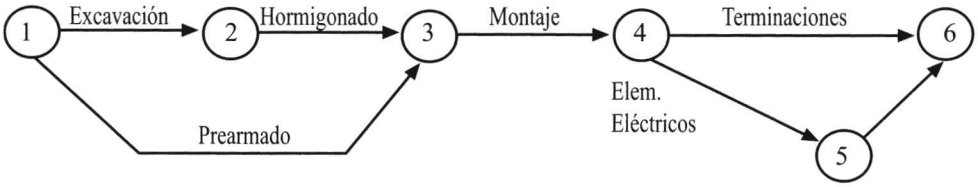
6.4 Ejercicios

Conceptos

1. ¿Qué aspectos básicos deben considerarse en el análisis de recursos? Explique.
2. En el análisis de recursos, ¿qué diferencias importantes hay entre los recursos almacenables y los no almacenables? Si usted debe ejecutar una obra que dura 10 días y ocupa 10 hombres-día del recurso mano de obra y 10 sacos-día del recurso cemento, ¿cuántos obreros contrataría usted para la obra? ¿Cuántos sacos de cemento adquiriría para la obra?
3. ¿Cuáles son los recursos que forman parte del flujo de recursos de un proyecto de construcción y cómo se relacionan entre sí?
4. ¿Por qué es importante para una actividad definir sus recursos directos? ¿A partir de éstos, que se determina?
5. ¿Cuáles son los objetivos del análisis de recursos de un proyecto? Indique brevemente los métodos que utilizaría para cumplir con dichos objetivos.
6. ¿Qué principios básicos deben considerarse en la asignación de recursos?
7. ¿De qué forma son importantes para la administración de un proyecto el conocer las siguientes características de los recursos?:
   - Posibilidad de almacenamiento.
   - Intensidad de utilización del recurso.
8. Dibuje el gráfico utilizado para el análisis de factibilidad por recursos, identificando todos sus elementos. Explique de qué forma este gráfico permite realizar un análisis efectivo de la disponibilidad de recursos.

Problemas

1. La malla de la figura corresponde a la ejecución del montaje de una torre de alta tensión.



Las duraciones están en semanas.
Además se conocen los siguientes antecedentes de las actividades:

ACTIVIDAD	DURACIÓN	HORAS HOMBRE	COSTO DIRECTO POR SEMANA	COSTO INDIRECTO
Excavación	1	60	10000	5000
Prearmado	2	80	15000	6000
Hormigonado	2	70	20000	10000
Montaje	1	100	30000	10000
Terminaciones	1	50	10000	5000
Elems. Eléctricos	2	100	25000	12000

La cantidad máxima de horas-hombre disponibles para el trabajo es de 100 hrs. por semana. Estimar la duración final del proyecto considerando la restricción de recursos existente.

2. La actividad de pintar una casa requiere de dos recursos: mano de obra y pintura. El rendimiento de la mano de obra es de 80 metros cuadrados / día /hd y la pintura rinde 12 metros cuadrados / lt.

   a) ¿Cuántos operarios serán necesarios para pintar 500 m^2 en 2 días?

   b) ¿Cuántos días se demora un operario en gastar 60 litros de pintura?

VII.
PLANIFICACIÓN DE RECURSOS FINANCIEROS

7.1 Introducción

Si bien se ha dejado este tema para uno de los capítulos finales de este texto, es necesario señalar que la planificación de recursos financieros es de tal importancia como para ser un detonador en la posible falla de un proyecto. El análisis de la factibilidad financiera de un plan implica determinar si los fondos necesarios para cubrir los gastos financieros se encuentran y se encontrarán o no disponibles cuando se necesiten. El lanzarse a realizar un proyecto sin haber antes revisado su viabilidad financiera es tremendamente arriesgado y podría significar incluso el colapso financiero de una empresa.

Analizar la factibilidad financiera del plan de un proyecto es tan importante como verificar si el plan es físicamente factible y económicamente apropiado, ya que esto último no significa que sea posible realizarlo, sino que es necesario también ser capaz de costear todos sus gastos financieros y disponer de los fondos necesarios de acuerdo a los flujos de caja del proyecto. En consecuencia, es necesario estimar los costos financieros a lo largo de todo el proyecto y de este modo poder prever la cantidad de recursos que será necesario disponer para seguir adelante con el proyecto.

La importancia de la planificación de los recursos financieros está en la necesidad de tomar provisiones para momentos difíciles en el futuro y en el hecho de que la falta de recursos financieros es una causa importante de fallas financieras de empresas. Realizar esta planificación tiene objetivos muy precisos, dentro de los cuales podemos mencionar como los más importantes: estudiar la disponibilidad de fondos a lo largo del desarrollo del proyecto, balancear gastos v/s ingresos y minimizar los gastos financieros asociados.

7.2 Flujo de Caja de un Proyecto

El elemento central para el análisis financiero de un proyecto es la determinación de los flujos de caja de éste. El flujo de caja de un proyecto, dicho de una manera muy simple, corresponde al balance mensual entre los ingresos y los egresos, y por lo tanto puede ser positivo o negativo. En aquellos períodos en que sea negativo, será necesario incurrir en gastos financieros para suplir la diferencia. La figura 7.1 muestra un ejemplo de flujos de caja de un proyecto en toda su vida útil.

Dentro de los ingresos y los egresos que se mencionaron anteriormente existe más de un flujo, por lo cual es necesario primero aclarar ciertos conceptos, los cuales se explican a continuación.

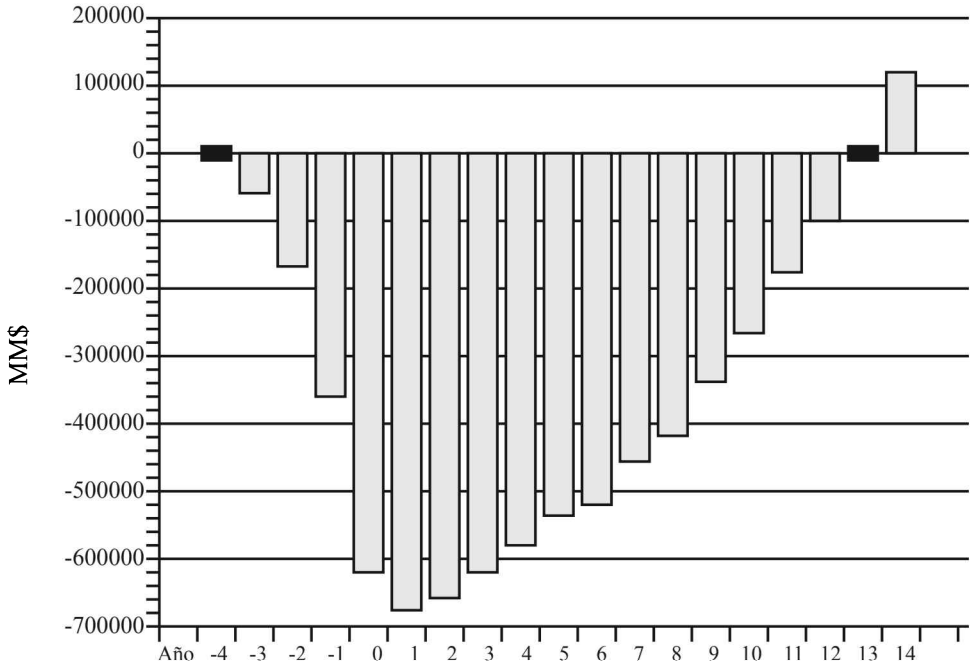


Figura 7.1 Ejemplo de gráfico de flujos de caja de un proyecto

El *valor* o *valor ganado* corresponde al valor total del trabajo completado por el contratista, de acuerdo a los precios del presupuesto. Éste se puede determinar haciendo mediciones que evalúen el porcentaje de avance de cada actividad que ha comenzado a realizarse. Como se puede apreciar en la figura 7.2, el valor ganado aumenta a lo largo de la duración del proyecto. Diciéndolo de otra manera, sería el costo de todos los materiales que han sido colocados, el costo de la mano de obra por colocarlos y todos los demás costos asociados hasta la fecha de control, incluyendo utilidades y gastos generales del contratista.

El *gasto* se refiere al flujo de egreso/costo, sin importar si los pagos ya han sido efectuados o están fijados para más adelante. La suma de los gastos que se realizan dentro de un proyecto es lo que corresponde a los costos directos e indirectos del proyecto. No es igual al valor ganado, ya que faltaría agregarle otros componentes tales como gastos generales y utilidades.

Un *estado de pago* es el monto solicitado como pago del trabajo realizado a una fecha establecida en las condiciones del contrato. Es el valor que el mandante paga por el trabajo que se le está realizando. Como se aprecia en la figura 7.2, el valor acumulado de los estados de pago va siempre por debajo del valor ganado de la obra. Esto se debe a que dentro de las fórmulas de estado de pago, éstos se realizan con algún tipo de retención (% del valor del estado de pago), la que sirve de resguardo al mandante para garantizar el cumplimiento del contrato, y que generalmente son pagaderos a 30 o 60 días.

Sin embargo, al final del proyecto la sumatoria de los estados de pagos debe ser igual al valor ganado equivalente al 100% de la obra o proyecto, ya que éste es el valor que debe pagar el mandante por su proyecto.

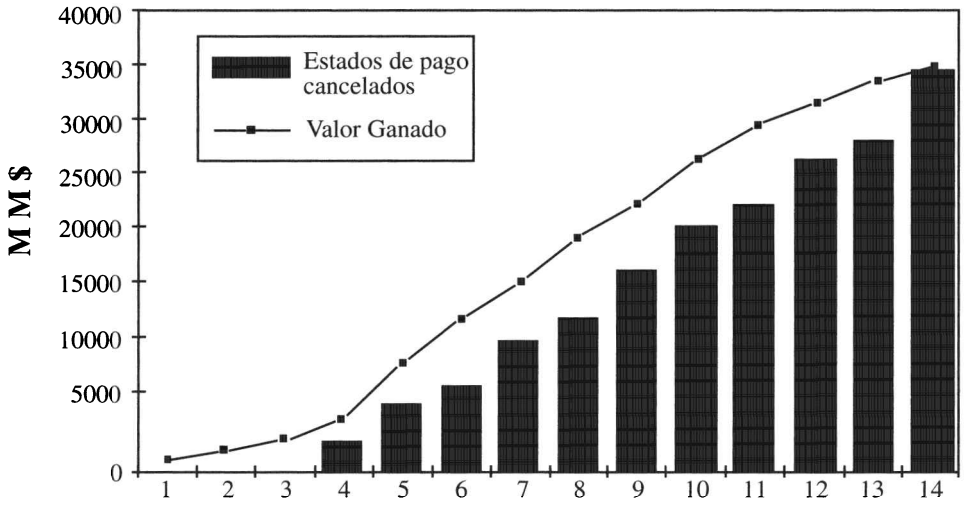


Figura 7.2 Conceptos de valor ganado y estados de pago

Los *desembolsos* son los pagos efectivamente realizados dentro de un período. Lo de "efectivamente realizados" se debe a que en general los pagos a los proveedores no se realizan al contado sino que a 30 o más días. Esto permite disminuir los gastos finan-

cieros en que se va incurrir al acercarse más al valor de los estados de pago, los que tampoco se cancelan al contado.

Las *obligaciones* son todos los pagos comprometidos a futuro, y corresponden a la diferencia entre los gastos y los desembolsos. Es decir, no significa que se esté pagando menos que los gastos incurridos, sino que sólo se están postergando algunos de los pagos que se deben realizar.

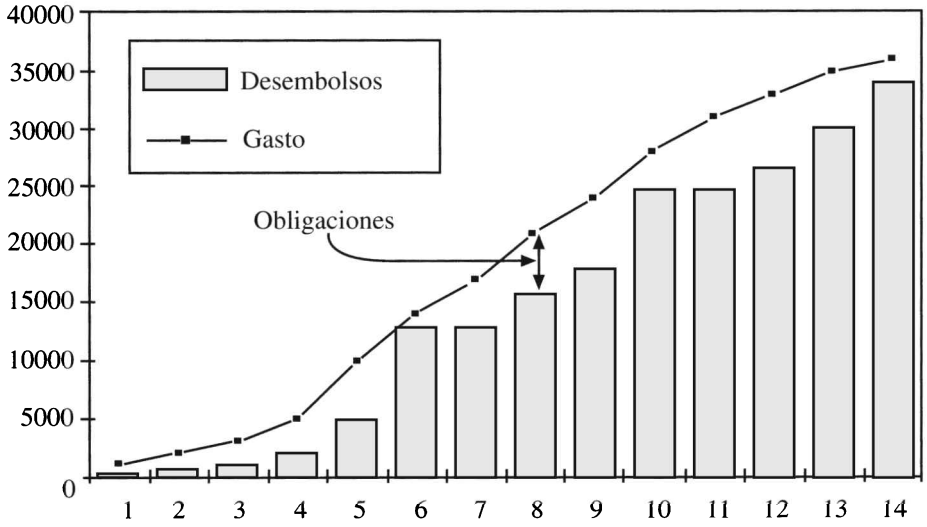


Figura 7.3 Conceptos de desembolsos, gastos y obligaciones.

Los conceptos anteriores, revisados de manera gráfica, se unen en un solo gráfico para representar la curva de flujo de caja del proyecto. En esta curva se muestran cuáles serán los capitales de trabajo necesarios para llevar adelante el proyecto.

La curva de flujo de caja puede ser usada como una base para monitorear los flujos actuales, y predecir de manera más exacta futuros flujos de caja. Consideremos por ejemplo un proyecto de nueve meses de duración, cuyo costo total es de mil millones de pesos. Este proyecto se ha dividido en cuatro actividades principales: diseño, licitación, adquisiciones y construcción. La figura 7.4 muestra la curva de flujo de caja para este caso.

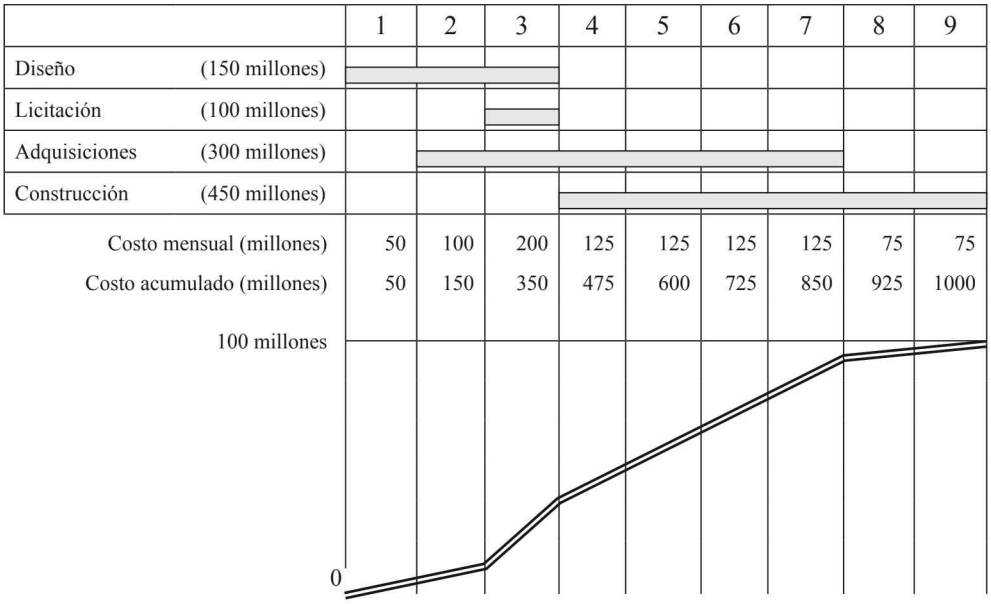


Figura 7.4 Curva de flujo de caja de un proyecto.

Análoga a la curva de flujo de caja de un proyecto es la curva de oferta y demanda de recursos. Las curvas de demanda corresponderían a los recursos requeridos por el proyecto para seguir adelante. Como ya se ha visto en capítulos anteriores, existen dos caminos extremos para llevar a término un proyecto: las fechas más tardías y las fechas más tempranas. Para cada uno de estos caminos existen también dos extremos de requerimientos de fondos económicos.

Si dentro de la disponibilidad de fondos ya está incorporado el posible financiamiento que se puede obtener, es necesario que esta curva (disponibilidad de fondos) se encuentre dentro de los márgenes determinados por las otras dos, como es el caso del ejemplo de la figura 7.5. Si esto no ocurriera, el proyecto no sería viable desde el punto de vista financiero.

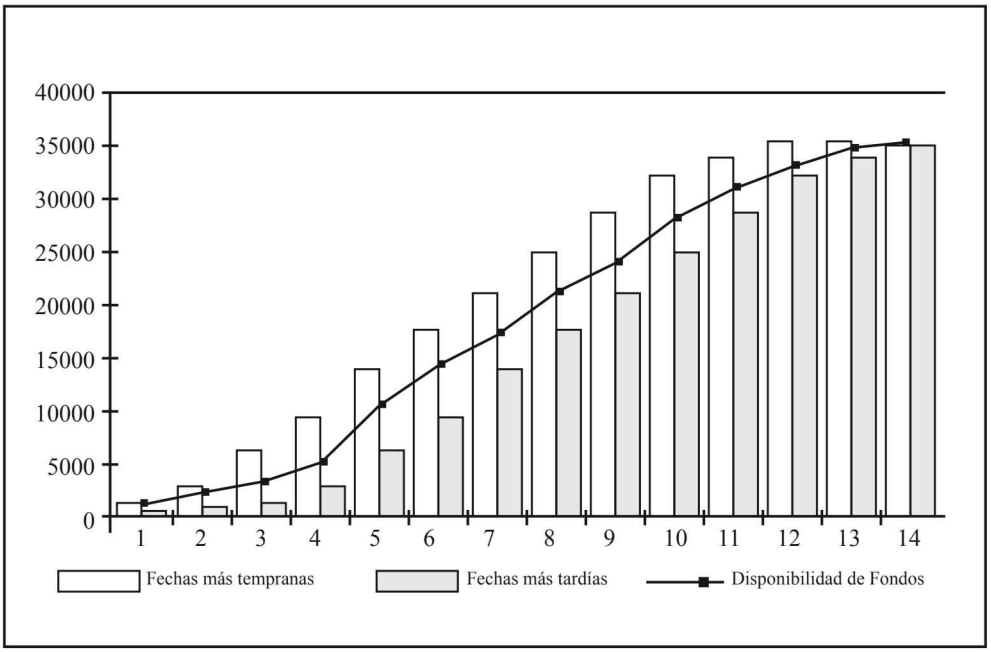


Figura 7. 5 Curvas de requerimientos.

Los flujos de caja son diferentes para cada proyecto, debido a que existen diversos factores, únicos para cada proyecto, que afectan de una u otra manera los flujos. Entre estos factores podemos nombrar:

- Duración del proyecto.
- Margen de contribución (utilidades + gastos generales).
- Retenciones por parte del mandante o cliente (% de cada estado de pago).
- Condiciones de pago por trabajo realizado:
  - Periodicidad de medición.
  - Demora permitida desde que se genera estado de pago hasta que se paga (parte del contrato).
- Condiciones de crédito con acreedores.
- Fechas de pago por recursos.
- Relación del proyecto con otros proyectos.
- Solución de problemas pendientes, reclamos o cambios.

En la medida en que mejor se conozcan cada uno de estos factores, mayor será la exactitud con que será posible determinar los flujos futuros del proyecto y de este modo manejar toda la información necesaria para planificar los recursos financieros para todo el proyecto.

Entre las dificultades más comunes para realizar el análisis financiero se encuentran la falta de información, comportamiento de los participantes del proyecto, pronósticos del futuro no siempre acertados, las condiciones económicas del país y/o las variaciones en los precios de los recursos.

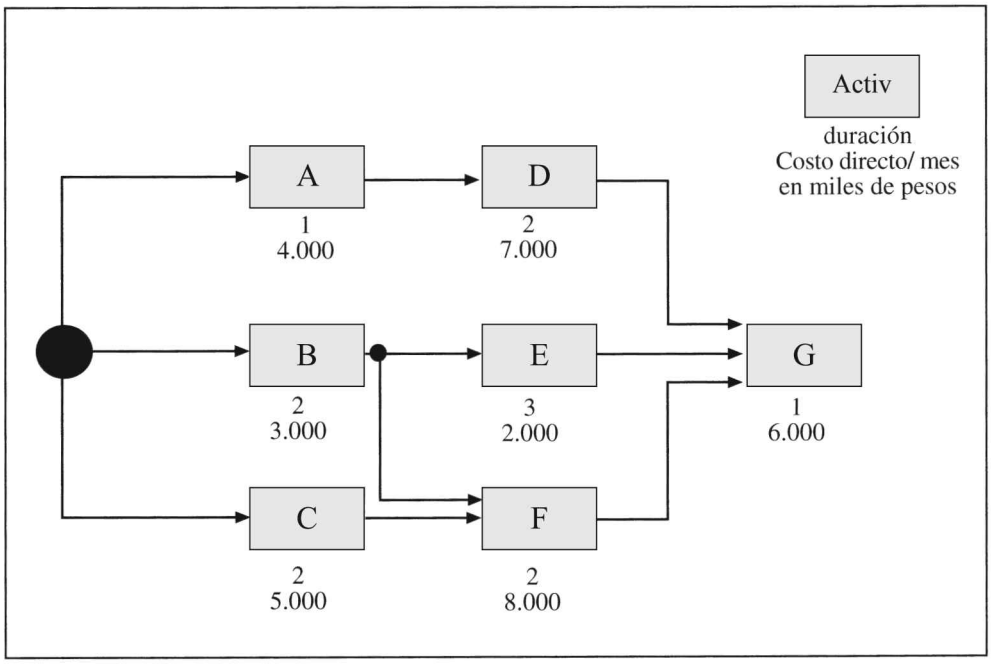
Cuando los flujos de algún período son negativos, es necesario cubrir la diferencia de algún modo. Para esto se recurre a los financiamientos, los cuales no se refieren solamente a créditos convencionales, sino que existen otras alternativas para obtener la cantidad de dinero necesaria para tener la totalidad del capital de trabajo para ese período, como el financiamiento propio y los créditos de acreedores.

En el caso de utilizar fondos propios, se debe tener en cuenta que esos fondos tienen lo que se llama un costo de capital o de oportunidad. Este costo se puede calcular en función de los intereses que se obtendrían al depositar, en un instrumento libre de riesgo, aquel monto de dinero (por ejemplo, en un banco) o los intereses ahorrados en caso que se use el monto de dinero para pagar una deuda, o finalmente, la rentabilidad que se podría obtener al invertir dicho dinero en una alternativa de inversión conveniente. Normalmente se usa una combinación de éstos y otros factores.

Los acreedores corresponden a gente interesada en invertir a cambio de una rentabilidad sobre el monto de dinero que han colocado dentro del proyecto. Es importante tener en cuenta que, sea cual sea el tipo que se escoja, al momento de requerir y solicitar financiamiento es necesario realizar un análisis tanto a nivel del proyecto como a nivel de la empresa.

7.2.1 Ejemplo de aplicación de flujos financieros

Con el fin de fomentar el turismo en el sur de Chile, se ha decidido construir un camino que permitirá a los turistas el acceso a ciertas termas que hasta ese momento eran prácticamente inaccesibles. La construcción de esta obra se ha dividido en siete actividades principales, las que se presentan en el siguiente diagrama de mallas:



Desarrollando la malla se obtiene la duración estimada del proyecto, que es de seis meses, y se confecciona la carta de barras del proyecto que se presenta en la figura 7.6, la cual permite una visión del modo en que se llevará a cabo el proyecto.

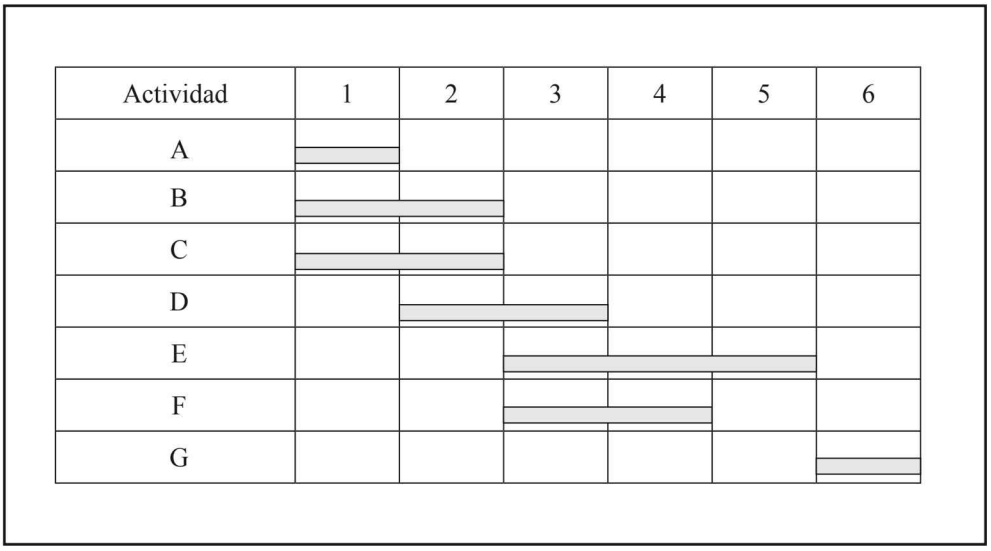


Figura 7.6 Carta de barras del proyecto.

Las condiciones financieras para la materialización de este proyecto son las siguientes:

- Costo indirecto: $ 10.000.000/ mes.
- Costo de mano de obra: 30% del costo directo.
- Costo de materiales: 50% del costo directo.
- Costo de equipos: 20% del costo directo.
- Margen: 25%; Retención: 15%; se devuelve 60 días después de terminada la obra.
- Estados de pago: mensuales con 30 días para el pago.
- Equipo: se factura a fin de mes, con 30 días para el pago.
- Materiales: se facturan a principio de mes, con 30 días para el pago.
- Mano de obra: se paga a final de cada mes.
- Interés: captación, 1% mensual; colocación, 1,5% por mes.
- El costo directo se especifica en el diagrama de malla para cada actividad.

El siguiente paso para hacer los cálculos de flujo de caja es confeccionar una tabla que permita analizar y trabajar en forma ordenada con los datos que ya se tienen, de modo de hacer los cálculos necesarios (ver tabla 7.1).

Tabla 7.1

(miles de $)	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes...	Mes n
Costo M.O. Costo Materiales Costo equipos					
Costo directo Costo indirecto Margen					
Estado de Pago Retención					
A recibir Desembolso Egreso Acumulado Ingreso Acumulado					
Flujo de caja Interés A Financiar					

Se analizan los costos directos de cada actividad y, de acuerdo al enunciado, se determinan los costos correspondiente a mano de obra , materiales y equipos (tabla 7.2).

Tabla 7.2

	COSTOS DIRECTOS POR MES		
Actividad	**Mano de Obra**	**Materiales**	**Equipos**
A	1.200.000	2.000.000	800.000
B	900.000	1.500.000	600.000
C	1.500.000	2.500.000	1.000.000
D	2.100.000	3.500.000	1.400.000
E	600.000	1.000.000	400.000
F	2.400.000	4.000.000	1.600.000
G	1.800.000	3.000.000	1.200.000

Se introducen estos valores en la tabla 7.1, considerando sólo aquellas actividades que se estén desarrollando en cada uno de los meses. El margen se calcula en función de la suma del costo directo, que no es más que la suma de los costos de mano de obra, materiales y equipos, y el costo indirecto obtenido del enunciado. El estado de pago mensual está conformado por la sumatoria del margen y los costos directo e indirecto, y a partir de ese valor se determina la retención.

Tabla 7.3

(miles de $)	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8
Costo Directo Total	12000	15000	17000	10000	2000	6000		
Costo Mano Obra	3600	4500	5100	3000	600	1800		
Costo Materiales	6000	7500	8500	5000	1000	3000		
Costo Equipos	2400	3000	3400	2000	400	1200		
Costo Indirecto	10000	10000	10000	10000	10000	10000		
Costo Total	22000	25000	27000	20000	12000	16000		
Margen (25%)	5500	6250	6750	5000	3000	4000		
Estado de Pago	27500	31250	33750	25000	15000	20000		
Retención	4125	4687,5	5062,5	3750	2250	3000		
A recibir		23375	26562,5	28687,5	21250	12750	17000	22875
Desembolso	19600	24400	26600	21400	13600	15200	1200	
Egreso Acumulado	19600	44000	70600	92000	105600	120800	122000	122000
Ingreso Acumulado	0	23375	49937,5	78625	99875	112625	129625	152500
Flujo de Caja Acum.	-19600	-20625	-20662,5	-13375	-5725	-8175	7625	30500
Interés		-294	-313,8	-319,1	-214,5	-103,0	-141,3	62,4
Flujo de Caja Acum. con interés	-19600	-20919	-21270,3	-14301,8	-6866,4	-9419,4	6239,3	29176,7

El egreso acumulado mensual se obtiene de la suma del desembolso mensual y el egreso acumulado del mes anterior. El ingreso acumulado es la suma del ingreso acumulado del mes anterior con la cantidad que se recibe en el mes actual. Así, el flujo de caja no es más que la diferencia entre el egreso y el ingreso acumulado. Sobre el valor obtenido se aplica el interés correspondiente, dependiendo si se tiene un flujo de caja positivo o negativo. Finalmente, el valor a financiar es el valor de los intereses sumados al flujo de caja. Cuando se obtiene un valor negativo, esto significa que el proyecto aún no deja utilidades.

El interés se obtiene asumiendo que la empresa deberá obtener el dinero necesario por medio de endeudarse en el momento que necesite realizar los pagos (generalmente a fin de mes). A partir de ese momento, se carga interés sobre la deuda y en el caso de que el interés de un período no se pague, deberá considerarse interés sobre el interés adeudado (interés compuesto). Por ejemplo, en el mes 1, el flujo es negativo y se asume que la empresa pide $ 19.600.000 al banco. Al mes siguiente (fines de mes), la empresa debe pagar interés sobre lo adeudado, esto es $ 19.600.000 x 1,5% = $ 294.000. Al mes siguiente, el resultado nuevamente es negativo y la empresa deberá aumentar su deuda a $ 20.625.000, pero además se ha generado el interés ya calculado el que, al no pagarse genera un interés adicional como sigue: (20.625.000 + 294.000) x 1,5% = $313.800.

Mes 1

- Trabajan las actividades, A, B y C.
- Desembolso = C. Mat. + C. M.O. + C. Indirectos = 19.600
  El costo de equipo no se alcanza a pagar este mes y se considera al siguiente.
- No se recibe nada por ser el primer mes (estado de pago mensual con 30 días para pagar), por lo tanto el ingreso acumulado es cero.

Mes 2

- Continúan actividades B y C, comienza actividad D.
- A recibir: (estado de pago mes anterior – retención mes anterior) = 27.500 – 4.125
  La cantidad a recibir se calculará de esta misma manera para todos los meses siguientes.
- Desembolso = C. Mat. + C. M.O. + C. Equipos mes anterior + C. Indirectos.

Mes 3

- Trabajan actividades D, E y F.

Mes 7

- El proyecto ha terminado, por lo tanto no trabaja ninguna actividad, ni tampoco se consideran costos indirectos.
- El desembolso corresponde a los costos de equipos del mes anterior.

Mes 8

- Se reciben las retenciones efectuadas durante el transcurso del proyecto.
  Es importante señalar que esta es una de las formas de realizar los cálculos de flujo de caja, sin ser la única.

7.3 Resumen

El análisis de la factibilidad financiera de un plan implica determinar si los fondos necesarios para cubrir los gastos financieros se encuentran o se encontrarán disponibles cuando se necesiten. Este análisis es tan importante como verificar si el plan es físicamente factible y económicamente apropiado, ya que esto último no significa que sea posible realizarlo, sino que es necesario también ser capaz de costear todos sus gastos financieros y disponer de los fondos necesarios en el momento oportuno.

El elemento central para el análisis financiero de un proyecto es la determinación de los flujos de caja de éste. Para esto se definen los conceptos de valor ganado, gasto, estado de pago, desembolsos y obligaciones. La curva de flujo de caja puede ser usada como una base para monitorear los flujos actuales y predecir de manera más exacta futuros flujos de caja.

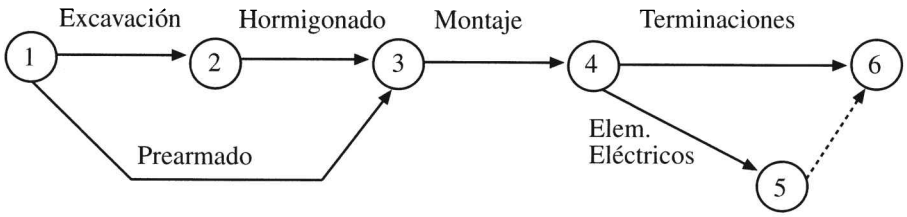
7.4 Ejercicios

Conceptos

1. ¿Cuáles son los objetivos que persigue el análisis y estimación de recursos financieros?
2. Indique cómo se puede determinar gráficamente, si un programa es factible desde el punto de vista de recursos financieros y de qué manera puede evaluarse el riesgo financiero de un proyecto usando este enfoque.
3. Con relación a los flujos de caja qué se entiende por:
   a) Valor ganado.
   b) Estado de pago.
   c) Obligaciones.
   d) Crédito de acreedores.
4. Existen varios factores que afectan los flujos de caja de un proyecto. Explique detalladamente porqué y de qué modo afectan los siguientes factores:
   a) Margen del contratista.
   b) Condiciones de pago por el trabajo realizado.
   c) Relación del proyecto con otros proyectos.

Problemas

1. La malla de la figura corresponde a la ejecución del montaje de una torre de alta tensión. Las duraciones se expresan en semanas.



Además se conocen los siguientes antecedentes de las actividades:

Actividad	Duración Semanas	Horas Hombre Semana	Costo Directo Total	Costo Indirecto Total
Excavación	1	60	10.000	5.000
Prearmado	2	80	15.000	6.000
Hormigonado	2	70	20.000	10.000
Montaje	1	100	30.000	10.000
Terminaciones	1	50	10.000	5.000
Elem. eléctricos	2	100	25.000	12.000

La cantidad máxima de horas-hombre disponibles para el trabajo es de 100 hh por semana. También se ha determinado que:

- Costo indirecto de obra = $25.000 por semana.
- Gastos generales + utilidades = 20% sobre (costo dir. + costo indir. de obra).
- Retención = 10% de los estados de pago.
- Interés: 2% semanal.
- Estados de pago se cancelan 1 semana después de presentados a fines de la semana de trabajo.

  a) Estimar la duración final del proyecto considerando la restricción de recursos existente.

  b) Determinar el flujo de caja estimado para la semana 3.

2. Un contratista desea calcular el costo financiero asociado a un proyecto que debe llevar a cabo. Para ello ha calculado los costos para cada mes de trabajo, obteniendo la siguiente tabla:

Mes	Movilización	Subcontratos	Materiales	Mano de obra	Maquinaria	Costos Indirectos
1	50.000	0	0	0	0	10.000
2	0	100.000	200.000	150.000	100.000	20.000
3	0	200.000	300.000	200.000	150.000	40.000
4	20.000	100.000	100.000	100.000	100.000	20.000

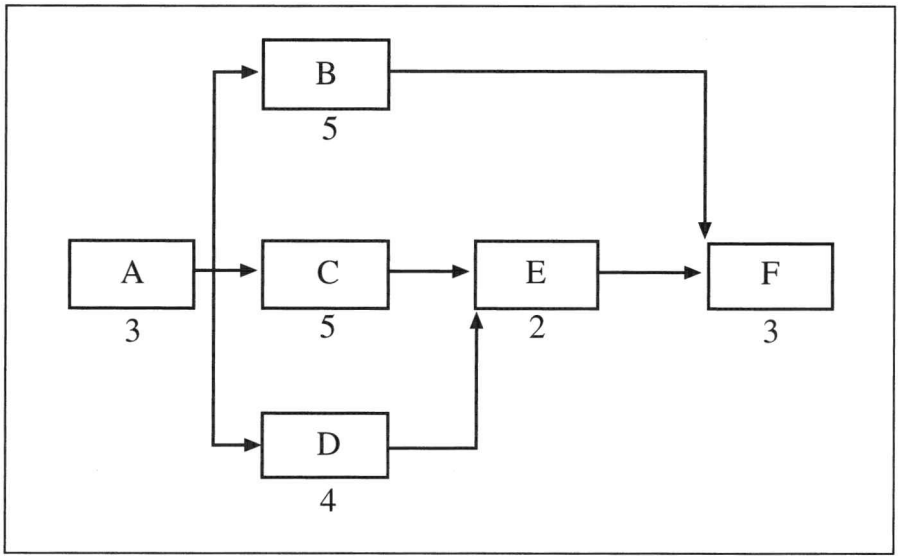
Además, se cuenta con la siguiente información:

- Margen: 20% sobre costos directos + indirectos
- Retención: 25% sobre estados de pago. Se devuelve 60 días después de terminada la obra.
- El mandante dará un anticipo correspondiente al 10% del precio total de la obra, el que se deberá descontar proporcionalmente de cada estado de pago.
- Estados de pago se cancelan 30 días después de presentados a fines del mes correspondiente.
- Subcontratos se pagan 30 días después de presentación de estado de pago del subcontratista al fin de cada mes en que trabaja.
- Materiales se pagan 60 días después de ordenarlos el último día del mes anterior al mes en que se ocupan.
- Mano de obra se paga a fines de mes.
- Maquinaria se paga 30 días después de que se presenta factura a fines del mes en que se usó.
- Los costos indirectos se realizan durante el mes.
- La tasa de interés de la línea de crédito del contratista es de 10% mensual.

a) Calcular los flujos de caja y gastos financieros para el proyecto.

b) Graficar la curva de flujos de caja.

3. La siguiente malla representa un proyecto que Ud. debe ejecutar.



Del cálculo de la malla, se ha determinado una duración estimada de 13 semanas para el proyecto. Usted ha sido informado de que el mandante desea que el proyecto sea finalizado en un plazo menor y que, de acuerdo a las condiciones del contrato, se ha pactado una multa de $50.000 por semana de retraso sobre las 6 semanas. Debido a esto, usted ha desarrollado la tabla que se adjunta a continuación:

ACTIVIDAD	DURACIÓN (SEMANAS)		COSTO ($)	
	NORMAL	ROTURA	NORMAL	ROTURA
A	3	2	60.000	80.000
B	5	4	120.000	135.000
C	5	3	160.000	220.000
D	4	2	80.000	100.000
E	2	1	60.000	75.000
F	3	1	140.000	200.000

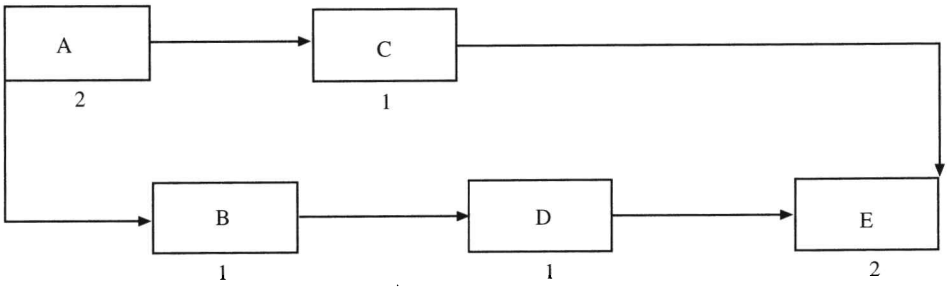
a) De acuerdo a las condiciones indicadas, ¿cuál sería la cantidad mínima de fondos adicionales (por sobre el costo normal), que usted, como ingeniero jefe del proyecto solicitaría a la oficina central para llevar a cabo el proyecto?

b) Si para el mismo proyecto se tiene además los siguientes antecedentes:

- Costos indirectos de obra: $50.000/semana.
- Gastos generales + utilidades: 20% sobre (costo directo + costo indirecto).
- Retención: 10% de los estados de pago.
- Interés: 1% semanal.
- Estados de pago se cancelan 2 semanas después de fecha de presentación (fines de cada semana).

Suponiendo que no existe multa, y asumiendo que el proyecto se realizará en sus fechas más tempranas, con duraciones y costos normales, determinar el flujo de caja correspondiente a la semana 4 de este proyecto.

4. La malla de la figura representa un proyecto que Ud. ha planificado y para el que debe realizar un análisis de flujos de caja. Las duraciones de las actividades están expresadas en meses.



El costo directo mensual de las actividades se indica en tabla a continuación (en $s):

Actividad	Materiales	Mano de Obra	Maquinaria	Subcontratos
A	1.000.000	500.000	1.000.000	500.000
B	2.000.000	800.000	0	0
C	1.500.000	1.000.000	0	1.000.000
D	1.000.000	500.000	2.000.000	0.
E	1.300.000	600.000	1.200.000	2.000.000

- El costo indirecto de obra se ha calculado como un promedio de $2.000.000 por mes. Además se cuenta con la siguiente información adicional:
- Margen: 20% sobre costo directo + costo indirecto.
- Retención: 10% y se devuelve de la siguiente forma: la retención de los primeros 2 meses, al término del mes 4, y el resto 30 días después de terminada la obra.
- Estados de pago: se presentan durante los primeros 5 días del mes siguiente al mes que se cobra, y se pagan a fines del mismo mes en que se presentan.
- Mano de obra: se cancela a fines del mes en que trabaja.
- Materiales: se pagan 60 días después de ordenarlos a fines del mes anterior al mes en que se usan.
- Maquinaria: se recibe factura a fines del mes en que se usa y se paga 30 días después.

- Subcontratos: al igual que la maquinaria.
- El interés mensual es de un 5%.

Utilizando la información proporcionada, se le solicita determinar lo siguiente:

- Flujos de caja mensuales.
- Curva de flujo de caja (usar cuadriculado en página siguiente).
- Curva de ingreso y de gasto (usar cuadriculado en página siguiente).
- Curva S de costo (usar cuadriculado en página siguiente).
- Gastos financieros, asumiendo interés simple. (No se considera ingresos financieros).

5. Un contratista desea calcular el costo financiero asociado a un proyecto que debe llevar a cabo. Para ello ha calculado los costos para cada mes de trabajo, obteniendo la siguiente tabla:

Mes	Movilización	Subcontratos	Materiales	Mano de obra	Maquinaria	Costos Indirectos
1	50.000	0	0	0	0	10.000
2	0	100.000	200.000	150.000	100.000	20.000
3	0	200.000	300.000	200.000	150.000	40.000
4	20.000	100.000	100.000	100.000	100.000	20.000

Además, se cuenta con la siguiente información:

- Margen: 10% sobre costos directos + indirectos.
- Retención: 20% sobre estados de pago. Se devuelve 30 días después de terminada la obra.
- Estados de pago se cancelan 30 días después de presentados a fines del mes.
- Subcontratos se pagan 30 días después de presentación de estado de pago del subcontratista al fin de cada mes.
- Materiales se pagan 30 días después de ordenarlos al inicio de cada mes.
- Mano de obra se paga a fines de mes.
- Maquinaria se paga 30 días después de que se presenta factura a fines del mes en que se usó.
- Los costos indirectos se realizan durante el mes.
- La tasa de interés de la línea de crédito del contratista es de 5% mensual.

a) Calcular los flujos de caja y gastos financieros para el proyecto.
b) Graficar la curva de flujos de caja..

VIII.
USO DE LAS TÉCNICAS DE PLANIFICACIÓN

8.1 Calendarios de Trabajo

En general, en todos los sistemas que utilizan el concepto del camino crítico, los cálculos de las fechas se realizan en días de trabajo. Sin embargo, el plan debe ser implementado de acuerdo al calendario real utilizado en el trabajo; esto significa que este variará dependiendo del país o de las costumbres del lugar donde se trabaje. Por lo tanto, es necesario convertir los días de trabajo a días calendario. En el siguiente ejemplo se ilustra en forma sencilla como hacer esto, utilizando asteriscos para los días que no se trabaja.

Mayo 1999

Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
			Días Calendario Días de Trabajo		1 *	2 *
3 1	4 2	5 3	6 4	7 5	8 *	9 *
10 6	11 7	12 8	13 9	14 10	15 *	16 *
17 11	18 12	19 13	20 14	21 *	22 *	23 *
24 15	25 16	26 17	27 18	28 19	29 *	30 *
31 20						

En un proyecto pueden existir diferentes calendarios asociados a los participantes en éste. Por ejemplo, pueden existir contratistas que trabajen sólo de lunes a jueves, o pueden existir restricciones legales para ciertos tipos de trabajos. Así, estos distintos calendarios deben ser establecidos claramente durante la planificación de modo de que ésta sea realista y adecuada.

La convención normalmente usada para el cálculo de mallas, considera el día 0 como el inicio del proyecto. El día 0 corresponde al término del día anterior al comienzo del proyecto, y el día de término del proyecto, corresponde al término del último día de trabajo.

EJEMPLO
Supongamos que tenemos un proyecto simple cuyo plan de trabajo se muestra en la figura 8.1 a continuación.

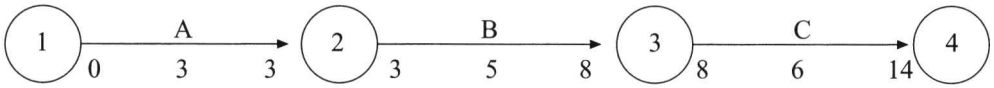


Figura 8.1 Ejemplo de plan de trabajo.

Asumiendo fecha de inicio el día 10 de mayo, se puede armar la carta de barras o carta Gantt que se muestra en la figura 8.2.

Días trabajados	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Días calendario	10	11	12	13	14	17	18	19	20	24	25	26	27	28
A														
B														
C														

Figura 8.2 Carta de barras considerando días calendario.

Hay que tener claro que las duraciones de las actividades expresadas en días de trabajo generalmente son diferentes de las duraciones expresadas en días calendarios corridos. Por otro lado, hay actividades en que normalmente su duración corresponde a días calendarios corridos, como por ejemplo, el endurecimiento del hormigón, interrupciones por condiciones climáticas o interrupciones por ocupación de la obra o parte de ella.

Cuando se utilizan distintos calendarios para las diferentes actividades del proyecto, es importante indicar como parte de las características de cada actividad, el calendario asociado a ella, de modo de que se considere apropiadamente esta situación al momento de transformar el programa en días de trabajo a días calendario, para su utilización en obra.

8.2 Uso de Submallas

Durante el proceso de planificación, el plan se va detallando cada vez más a medida que mayor información es recibida y agregada. En muchas oportunidades, un proyecto es definido con mayor detalle y precisión en algunas de sus partes que en otras, especialmente en proyectos que están conformados por varios subproyectos. En estos casos, es bastante común que un plan para cada subproyecto sea desarrollado en forma independiente por el personal responsable de ellos.

Así, al dividir un proyecto en varios subproyectos, se permite a cada uno de los administradores de éstos, administrarlos en forma relativamente independiente del resto de los subproyectos. Para la administración general del proyecto, este enfoque provee un medio de controlar los subplanes importantes o críticos en forma particular, más que de toda la malla, optimizando tiempo y esfuerzo.

Este concepto de submallas también se puede aplicar en la planificación de la instalación de faenas, cuando participan varios subcontratistas o contratistas, en proyectos de gran envergadura o en proyectos con una gran separación geográfica.

Cuando se utiliza el concepto de submallas, aparecen como críticos aquellos eventos o milestones (hitos) de interacción entre cada submalla y el resto de las submallas o de los elementos que constituyen el plan general del proyecto. Las interfases pueden representar el momento en que recursos de un subproyecto son transferidos a otro subproyecto, o las metas impuestas por el programa maestro para la submalla se cumplieran

El énfasis en la integración de las submallas está en los acontecimientos o eventos en común con otras submallas o la malla general.

8.2.1 Formas de Interfase

La interfase simple se produce cuando las mallas son unidas por uno o dos eventos de interfase, en cambio la interfase compleja se produce por la unión de más de dos eventos. En general, los eventos más usados son los inicios y los términos de las submallas. En los ejemplos a continuación se muestran los distintos casos posibles.

- **Simple, un evento de Interfase:**

Tal como se ve en la figura 8.3, la submalla 1 está relacionada con la malla principal sólo a través del evento de interfase B.

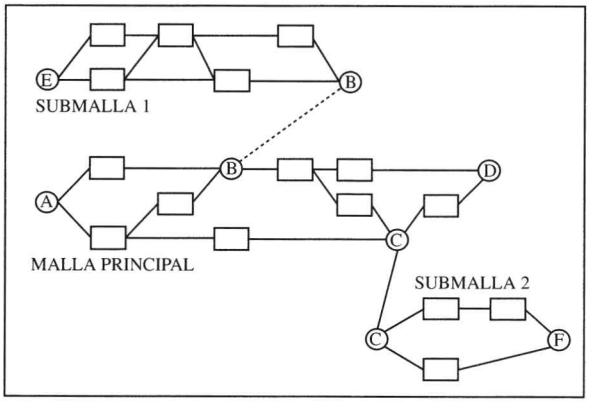


Figura 8.3 Interfase Simple, con un evento (B).

- **Simple, dos eventos de Interfase:**

En la figura 8.4 se ve como esta vez la submalla 1 está unida a la malla principal a través de 2 eventos de interfase, los eventos B y C.

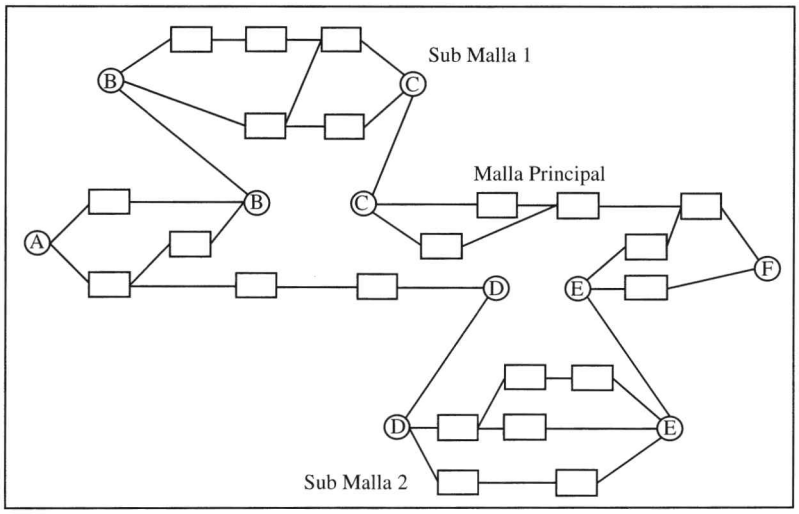


Figura 8.4 Interfase Simple, con dos eventos (B y C).

- **Compleja, más de dos Eventos de Interfase:**

En este caso (fig. 8.5), las mallas 1 y 2 están unidas por los eventos de interfase A, B y C.

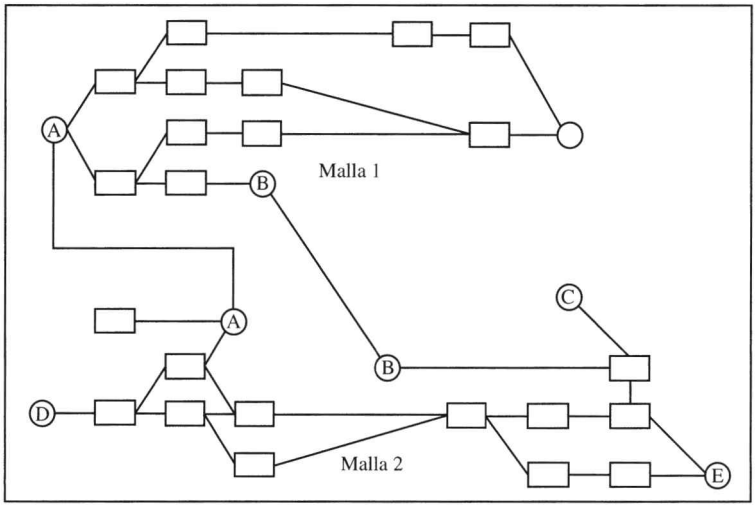


Figura 8.5 Interfase Compleja, con más de dos eventos (A, B y C).

Para estandarizar las notaciones, existen normas a seguir. El código debe indicar las mallas que están involucradas. Por ejemplo, en este caso (fig 8.6) el Evento «123» es común a las mallas 1, 2 y 3. Además se debe mencionar que este tipo de interfase se conoce como bidireccional.

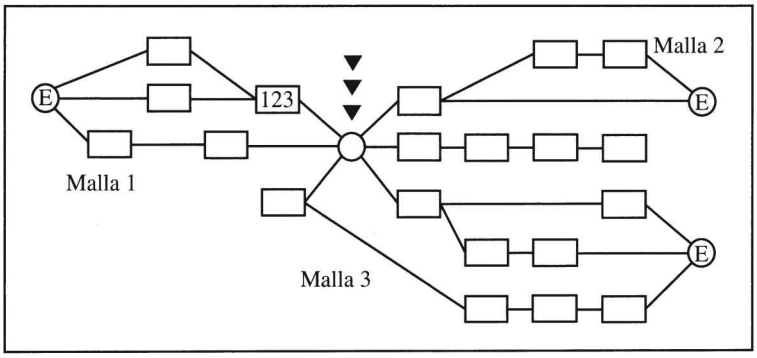


Figura 8.6 Códigos para mallas, interfase bidireccional.

Existen en un proyecto actividades y/o subproyectos más importantes que otros, por esta razón se hará una jerarquía de mallas indicando el nivel al que pertenece cada actividad o subproyecto. Un ejemplo de esto se puede ver en la figura 8.7.

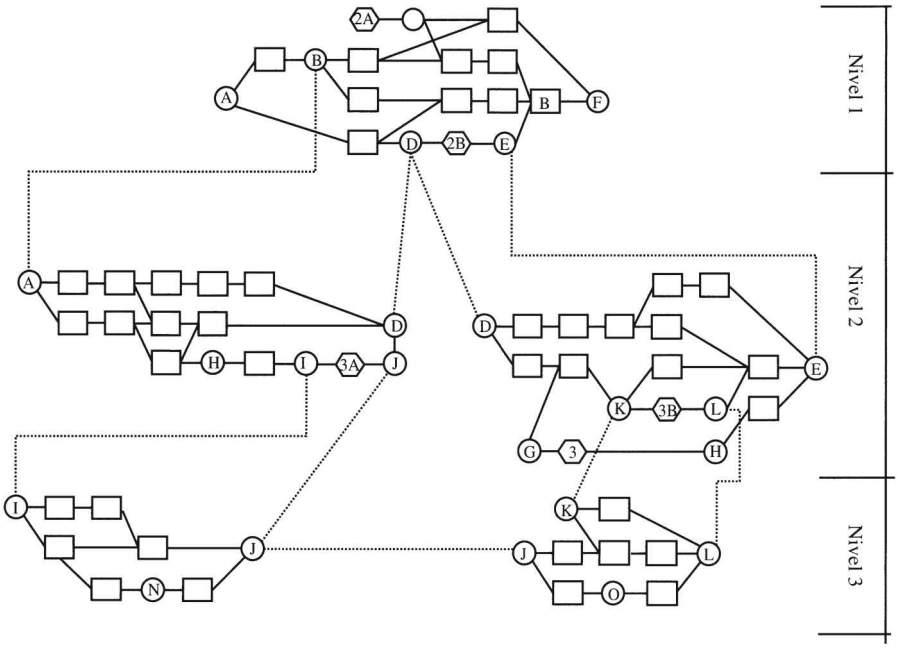


Figura 8.7 Mallas jerarquizadas.

8.3 Mantención y Actualización de Programas

La experiencia muestra que los programas obtenidos durante la planificación de un proyecto, sufren generalmente modificaciones durante la realización de las actividades. Normalmente las duraciones reales van a ser distintas de las estimadas, y es muy común que la secuencia de construcción sufra cambios con respecto al plan original. Más aún, pueden existir cambios en la definición del proyecto, o aumentos de obra, que producen modificaciones considerables en el plan y programa de un proyecto de construcción.

Por lo tanto, el basarse en el plan y programa original de un proyecto, a lo largo de toda su ejecución, y sin incluir la información que se va generando, hace inoperante a la planificación.

En un proyecto, tanto el contratista como el cliente, tienen interés en saber el grado de avance general del proyecto y una proyección realista de lo que queda por hacer. Interesa también la presentación de estados de pago periódicos, el nivel de retención sobre los estados de pago, las acciones correctivas y planificación hacia el futuro, la mantención de los planes y programas como herramientas útiles de la administración, el uso de los planes y programas como herramientas de evaluación de procedimientos, rendimientos y causas de atrasos y finalmente tener la información para reclamos y compensación por daños.

Una manera de ir actualizando la información es usando mallas. En el ejemplo a continuación, al término de la semana 4, se tiene la siguiente situación (ver figura 8.8):

1. La actividad A está terminada, habiendo demorando su ejecución 3 semanas.
2. La actividad D ha terminado.
3. La actividad B tiene un 10% de avance.
4. Se determinó que la actividad G debía comenzar después del término de D.
5. Se agregó la actividad X, cuya duración es de 3 semanas, la que no puede comenzar hasta que comience G. Además, su término restringe el inicio de F.

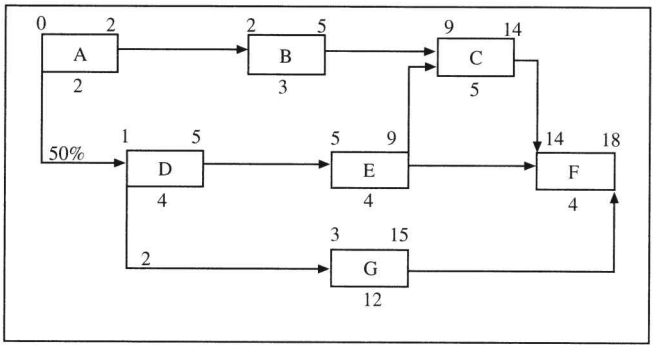


Figura 8.8 Malla original

Con estas condiciones se debe actualizar la malla y verificar el cumplimiento de las metas establecidas para el proyecto, comparando lo proyectado con lo realmente concretado. En la figura 8.9 se muestra la actualización de esta malla según las nuevas condiciones. En el capítulo 9 se analizará el seguimiento y control de proyectos.

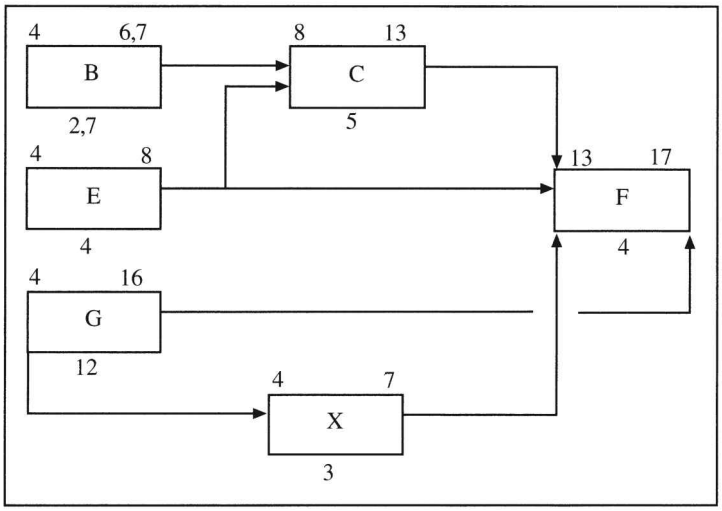


Figura 8.9 Malla actualizada según condiciones existentes.

8.4 Aceleración de un Proyecto y Optimización

Cuando un proyecto enfrenta problemas de atraso, interrupciones o, si por razones de conveniencia de la administración se necesita mayor velocidad, una de las decisiones más comunes es acelerar su ejecución.

Esto se puede lograr mediante varias maneras, entre las que se destacan aumento de recursos a las actividades, uso de sobretiempo, aumento de la productividad o mejoramiento de la secuencia de ejecución.

La aceleración del proyecto tiene siempre algunas consecuencias en el costo final total del proyecto, por lo que es necesario analizar cuidadosamente los efectos de la aceleración. Más aún, es conveniente, una vez obtenida la planificación original del proyecto, tratar de determinar la duración más económica para éste. En la figura 8.10 se muestra como el costo mínimo se encuentra en el mínimo de la curva de costos totales, que puede estar formada, entre otros, por el costo directo, el costo indirecto, premios, multas, etc.

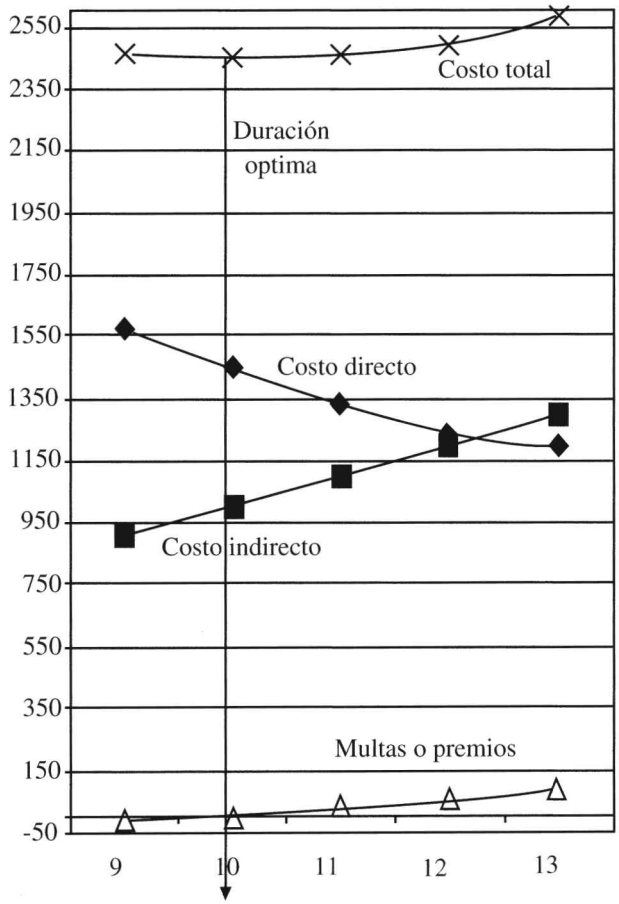


Figura 8.10 Curva de Costos de un Proyecto (Duración vs. Costos).

Para encontrar la duración de mínimo costo de un proyecto se debe realizar su correspondiente análisis de factibilidad económica. Este permite mejorar la tasa de retorno del proyecto al disminuir aún más el costo total de éste hasta llegar al punto de costo mínimo. Esto se logra a través de iteraciones, evaluando los efectos de aumentar o disminuir la duración del proyecto (compresión o descompresión de la malla).

En el análisis de factibilidad económica de un sistema, el costo de cada componente es minimizado, y se examina el efecto de esta reducción en el costo total del proyecto. En un plan de construcción, estas componentes son las actividades. La duración y el costo de cada actividad son alterados de manera de minimizar el costo total. En este proceso, varias soluciones alternativas pueden generarse, cada una con una duración y costo asociados. La solución más conveniente debe elegirse con un criterio que depende

del balance entre la duración y el costo que el planificador desea lograr para el proyecto. Antes de profundizar en este método se deben aclarar los siguientes conceptos:

- **Duración normal**: es el tiempo requerido para completar una actividad con un nivel normal de recursos, y sin recursos adicionales agregados al proyecto. Esta es la duración que generalmente se estima para una actividad.
- **Costo normal:** es el costo asociado a la duración normal de una actividad.
- **Duración de rotura:** es el tiempo mínimo en que una actividad puede ser realizada, utilizando recursos extras para la actividad. No se considera aquí la posibilidad de introducir nuevos procesos o cambios radicales de tecnología. Esta duración generalmente es menor que la normal.
- **Costo de rotura:** es el costo de completar la actividad en su duración de rotura. Cualquier intento de reducir el costo de una actividad que está en su duración de rotura lo único que hace es aumentar el costo sin ningún efecto en la duración de la actividad. Además de conocer estos valores, es importante determinar puntos intermedios (costos asociados a duraciones intermedias entre estos dos extremos).

También, se pueden considerar 4 tipos de **relaciones costo-duración**, para representar o modelar el comportamiento del costo de cada actividad al variar su duración. Estas relaciones se describen a continuación.

Función Lineal continua (figura 8.11):

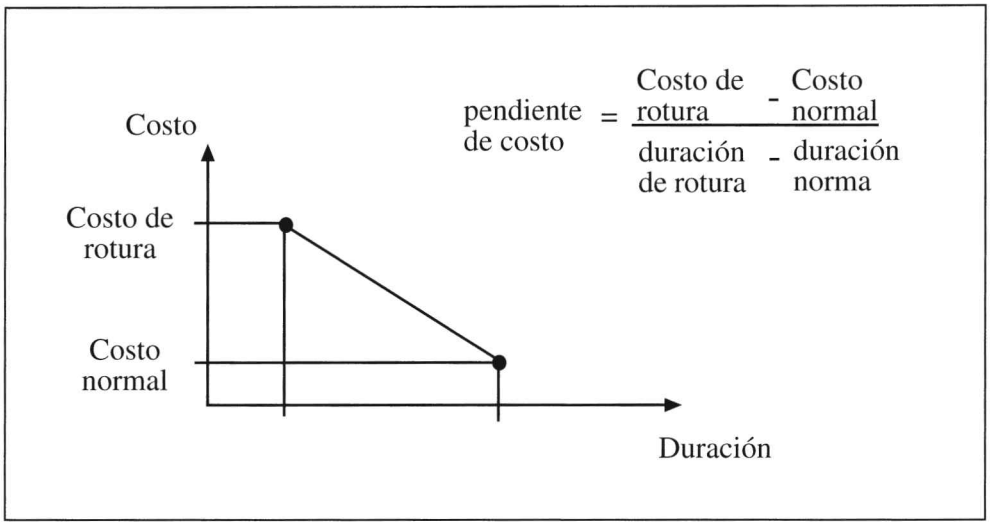


Figura 8.11 Función Lineal Continua.

Función Multilineal asociada con diferentes intervalos de duración (figura 8.12):

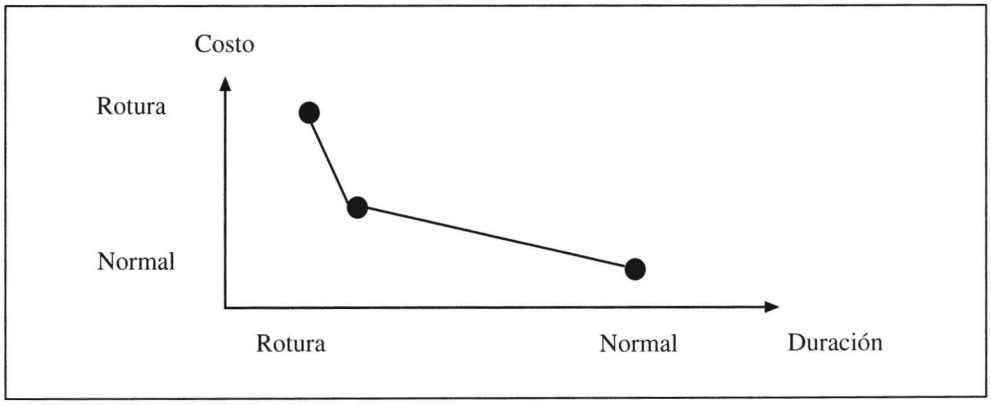


Figura 8.12 Función Multilineal.

Función Discreta (figura 8.13):

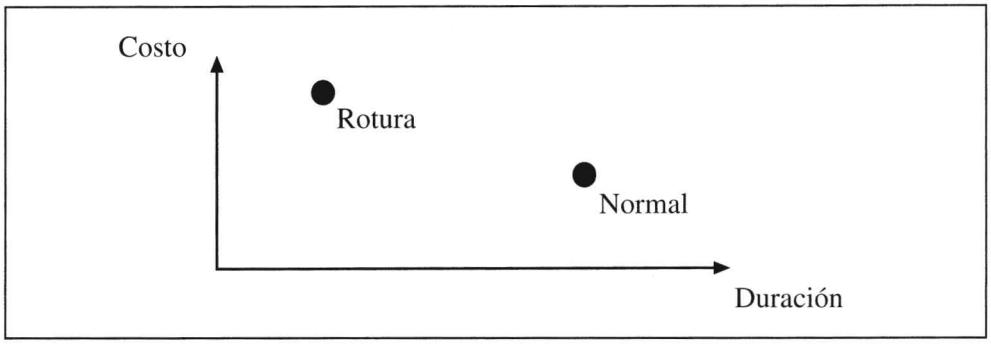


Figura 8.13 Función Discreta.

Función Curva Continua (figura 8.14):

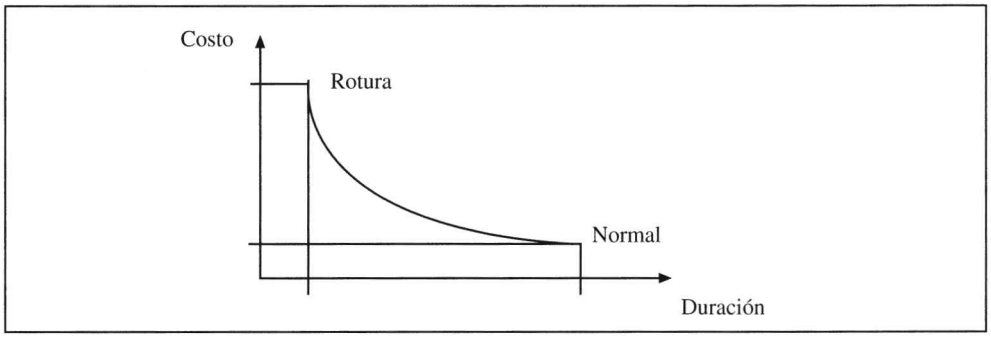


Figura 8.14 Función Curva Continua.

En general para las actividades se considera una variación lineal del costo versus duración como una simplificación en el análisis. En la mayoría de los casos, esta aproximación no produce grandes errores, pero siempre cada actividad debe ser analizada con respecto a su comportamiento real.

Con estas ideas y conceptos claros se puede entonces desarrollar un procedimiento para comprimir la duración del proyecto, tal como se explica a continuación.

Algoritmo de Compresión:

1. Determinar la duración normal del proyecto y su costo asociado.
2. Identificar el camino crítico.
3. Tabular las duraciones y costos normales y de rotura para todas las actividades.
4. Calcular y agregar a la tabla las pendientes de variación costo-duración.
5. Proceder a determinar la curva de costo del proyecto, acortando las actividades críticas, comenzando con aquella que tiene la menor pendiente costo-duración. Cada actividad es acortada hasta que (1) la duración de rotura es alcanzada, o (2) un nuevo camino crítico aparece.
6. Cuando existe más de un camino crítico, se deben acortar aquellas actividades concurrentes de los caminos críticos que tengan un menor costo combinado de reducción (pendiente). Cuando existen varios caminos críticos, deben acortarse todos en forma paralela para lograr una reducción de la duración del proyecto.
7. Para cada paso, verificar si existe holgura en otras actividades, las que puedan ser alargadas para reducir el costo.
8. Para cada ciclo, calcular el nuevo costo y la duración del proyecto.
9. Continuar hasta que no se pueda acortar más el proyecto (rotura).
10. Calcular el costo indirecto del proyecto y otros costos o ingresos relevantes, y sumar con costo directo en una sola curva, para encontrar el costo total para cada duración, y determinar el punto de costo mínimo o de duración óptima.

8.4.1 Ejemplo de Aplicación

Se tiene un proyecto cuyo plan de trabajo se muestra en la figura 8.15. Se desea acelerar el proyecto considerando los siguientes datos (para entender como se realiza este tipo de ejercicios, seguiremos los diez pasos que se señalaron en el punto anterior):

- Costo indirecto : MM$ 10 / semana
- Multa : MM$ 25 / semana, sobre 12 semanas
- Premio : MM$ 10 / semana, bajo 12 semanas

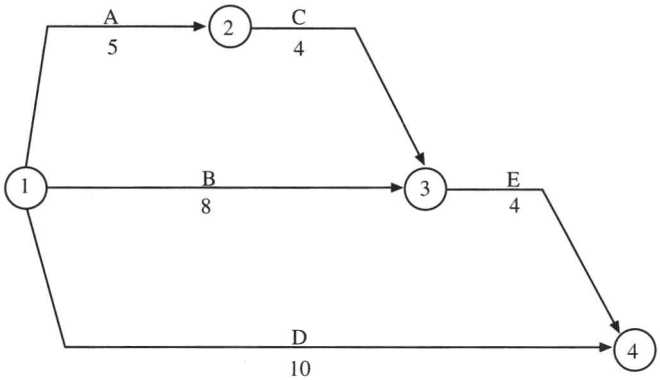


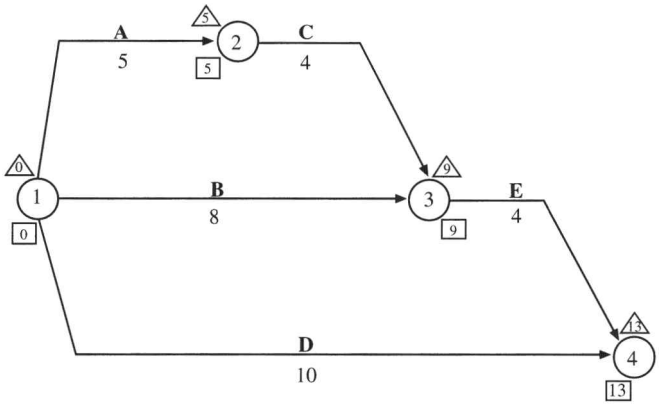
Figura 8.15 Ejemplo.

Tabla 8.1 Datos del ejemplo

Actividad	Duración Normal	Duración Rotura	Costo Normal (MM$)	Costo Rotura (MM$)
A	5	4	30	50
B	8	6	50	110
C	4	2	40	60
D	10	8	100	130
E	4	2	20	30

Procedimiento de solución

1. Se calcula la malla y se determina cual es el Costo Normal (costo asociado a la duración total del proyecto, calculado con las duraciones normales).



2. El camino crítico lo forman las actividades **A-C-E**.
3. Para calcular el costo normal asociado a este proyecto se procede de la siguiente manera:

$$CN = CD_{TOTAL} + CI + MULTA$$
$$CN = 240 + 130 + 25 = MM\$\ 395$$

4. Las pendientes de la variación costo-duración son las siguientes y se calculan con la fórmula que se señala a continuación:

5. $$Ac. / sem = \frac{(Costo\ Rotura - Costo\ Normal)}{(Duracion\ Rotura - Duracion\ Normal)}$$

Tabla 8.2 Cálculo de costo de aceleración.

	Duración		Costo (MM$)		Costo de
Actividad	Normal	Rotura	Normal	Rotura	Aceleración (MM$)
A	5	4	30	50	20
B	8	6	50	110	30
C	4	2	40	60	10
D	10	8	100	130	15
E	4	2	20	30	5

6. al 10. Se procede a acelerar el proyecto (acortar su duración), tal como se indica a continuación:

- Se acorta **E** en 2 unidades (menor pendiente costo-duración que está en el camino crítico).

  C.T. = 240 + 2 x 5 + 110 - 10 = MM$ 350 D = 11semanas

- Acortar **C** en 1 unidad.

  C.T. = 250 + 10 + 100 - 20 = MM$ 340 D = 10 semanas

- Acortar **C, B, D** en 1 unidad.

  C.T. = 260 + 10 + 30 + 15 + 90 - 30 = MM$ 375 D = 9 semanas

- Acortar **A, B, D** en 1 unidad.

  C.T. = 315 + 20 + 30 + 15 + 80 - 40 = MM$ 420 = C.R. D = 8 semanas

Todos estos costos asociados a distintas duraciones, compuestos por el costo directo, el costo indirecto y las multas o premios, se pueden representar en un gráfico como el de la figura 8.16 a continuación.

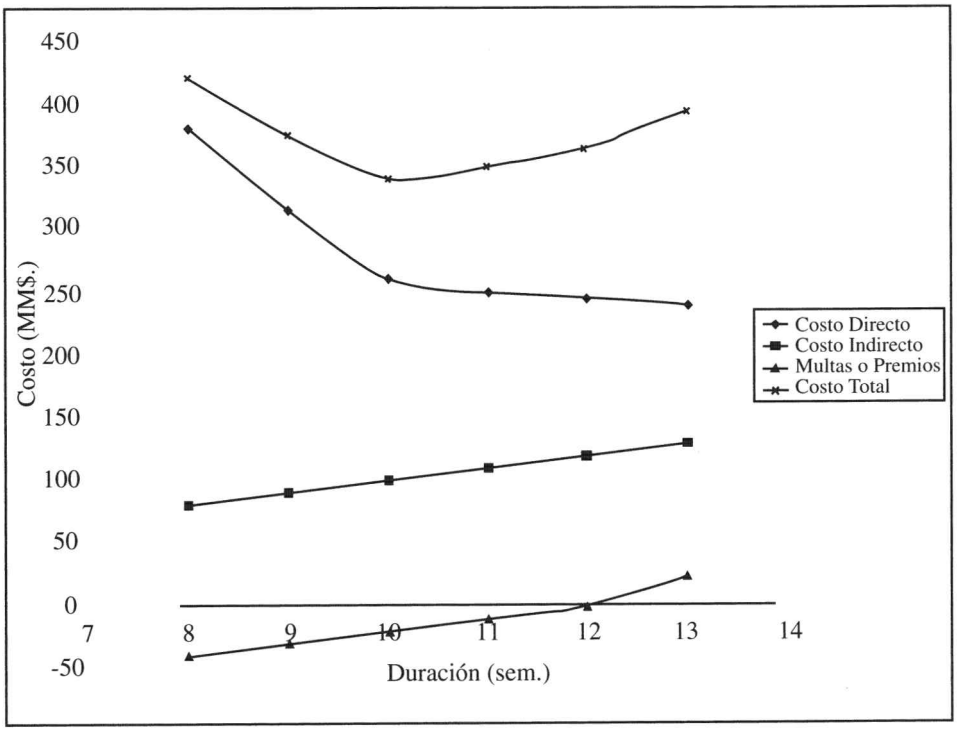


Figura 8.16 Resumen Ejercicio.

8.5 Resumen

En este capítulo se abordaron algunos aspectos importantes en el uso de las técnicas de planificación. Entre estos aspectos, se discutió el tema de los calendarios de trabajo, que se adaptan a las costumbres y horarios del lugar de las obras y en los que se identifican los días realmente disponibles y en segundo lugar, se consideró el tema de las submallas, método que consiste en subdividir un proyecto en partes pequeñas para hacerlo manejable y controlable. También se ha discutido el tema de la actualización de programas, ya que a medida que un proyecto avanza se van cumpliendo hitos que es necesario modificar en el plan original para tener un buen control de la situación. Finalmente se estudió como acelerar y optimizar un proyecto, para casos en que se decide aumentar la velocidad de trabajo, por medio de asignar más recursos al proyecto. La optimización que se busca en este caso es aquella asociada a la duración de menor costo total del proyecto.

8.6 Ejercicios

Conceptos

1. ¿En que consiste el calendario asociado a una actividad? Explique.
2. ¿Cuál es la ventaja de usar submallas para la planificación de un proyecto? Indique dos situaciones en que la aplicación de este concepto es claramente conveniente.
3. ¿Cuál es el comportamiento normal de los siguientes tipos de costos, al reducir la duración de un proyecto?

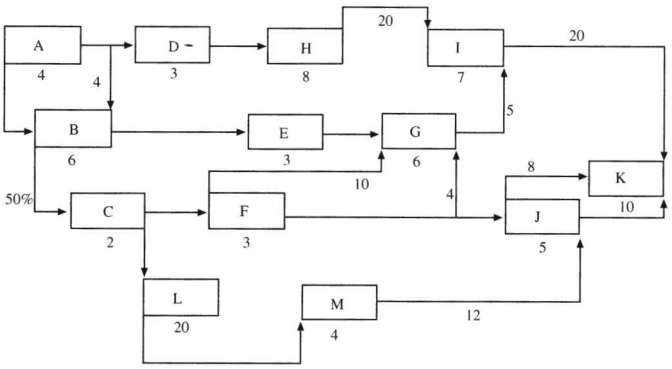
   a) Costo indirecto de obra.
   b) Gastos generales de oficina central.
   c) Costo total del proyecto.
   d) Costo directo.
4. Mencione al menos dos actividades cuya duración normalmente se expresa en días corridos y no en días calendarios.
5. Con respecto a la optimización del programa de un proyecto:

   a) ¿Cuál es el objetivo central de esta optimización?

   b) En un diagrama, dibuje los principales ítems de costo que participan en la optimización tiempo-costo de un proyecto.
6. "Normalmente al alargar un proyecto se produce un aumento en su costo". Justifique gráficamente esta afirmación y mencione al menos dos casos en que usted consideraría conveniente alargar la duración de un proyecto.
7. ¿Cuáles serían los efectos de aumentar el ritmo de trabajo en los siguientes factores: a) gastos generales? b) ¿demanda de mano de obra por unidad de tiempo? c) ¿duración final del proyecto? y d) ¿cantidad total de horas-hombre?

Problemas

1. La siguiente malla representa el plan de ejecución de un proyecto. Las duraciones están expresadas en semanas.



a) Compute la malla determinando la duración del proyecto, y el camino crítico para el caso discontinuo.

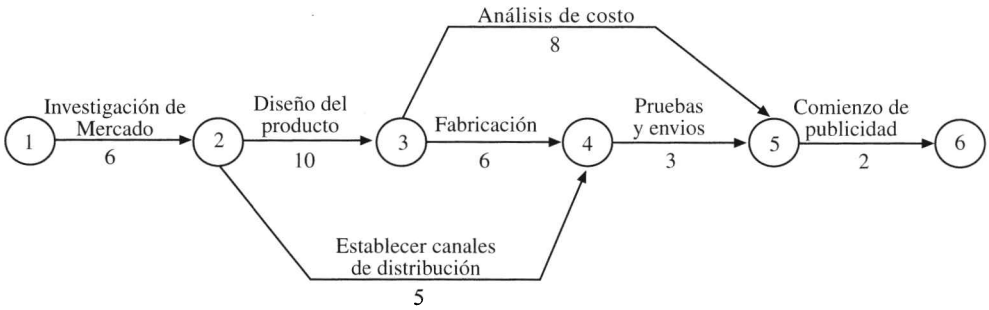
b) Se hace un control de avance al término de la semana 20 y se obtiene la siguiente información:

- Las actividades A, B, C, D, E, F, M, J están terminadas.
- A la actividad H le queda una duración remanente de 4 semanas.
- A la actividad G le queda 1 semana para terminar.
- A la actividad I le quedan 5 semanas para terminar, y se ha determinado que existe una relación adicional Comienzo-Comienzo con la actividad K y con un desfase de 6 semanas.
- La actividad K no ha comenzado aún, y se le ha estimado una nueva duración de 6 semanas.
- La actividad L no ha terminado, quedándole una duración remanente estimada de 4 semanas.

b1) Determinar la nueva duración total del proyecto, indicando el camino crítico actual.

b2) Dibuje la carta Gantt del proyecto remanente, indicando la holgura de las actividades cuando corresponda.

2. Suponga que usted ha sido designado para dirigir el lanzamiento de un nuevo producto de una empresa industrial. Después de un análisis detallado, usted con su equipo de trabajo han confeccionado la siguiente malla:



Los costos indirectos del proyecto se han determinado en base a la siguiente expresión:
Costos indirectos = $600.000 + $10.000 x Duración del proyecto en semanas.

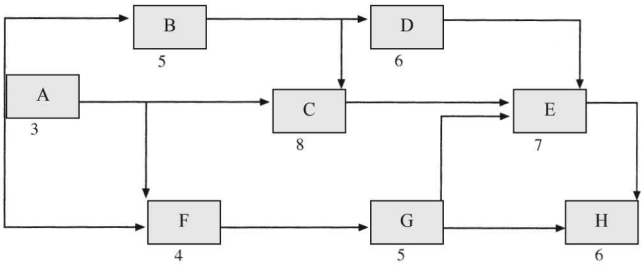
Los costos directos de las actividades se muestran a continuación:

Actividad	Duración normal	Duración de rotura	Costo normal	Costo de rotura
Investigación de mercado	6	5	60.000	100.000
Diseño de producto	10	8	100.000	260.000
Canales de distribución	5	3	20.000	80.000
Fabricación	6	5	100.000	140.000
Análisis de costos	8	7	50.000	100.000
Pruebas y envío	3	3	80.000	80.000
Publicidad	2	1	120.000	250.000

Además, se debe considerar que en el lanzamiento del producto es muy importante el tiempo, ya que a mayor demora en la llegada del producto al mercado, menores serán las utilidades esperadas:
Determine la duración óptima para este proyecto.

SEMANA DE DESPACHO	UTILIDADES ESPERADAS
20	$2.500.000
21	$2.400.000
22	$2.310.000
23	$2.225.000
24	$2.150.000
25	$2.080.000
26	$2.020.000
27	$1.970.000
28	$1.950.000

3. La siguiente malla representa el plan de ejecución de un proyecto. Las duraciones están expresadas en días.



a) Compute la malla determinando la duración del proyecto, el camino crítico y el cronograma completo de las actividades.

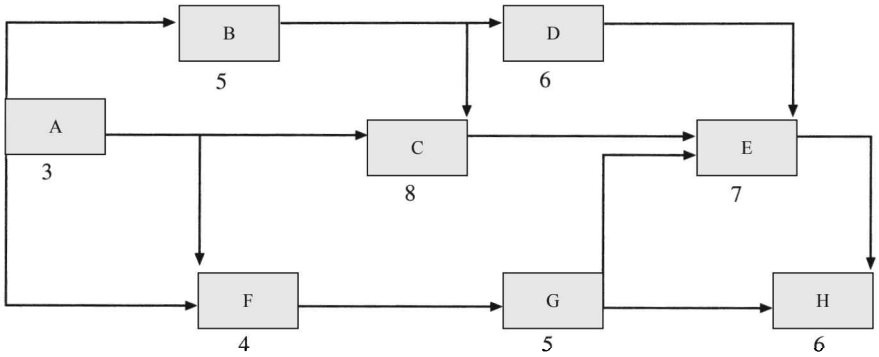
b) Se hace un control de avance al término del día 15 y se obtiene la siguiente información:

- Las actividades (A), (B), (D), (C), están terminadas.
- A la actividad (F,) le queda una duración remanente de 5 días.
- A la actividad (G) le quedan 10 días para terminar.
- A la actividad (E) se le redeterminó su duración quedando en 4 días y no ha sido ejecutada.
- Todas las otras actividades no han comenzado.

b1) Determinar la nueva duración total del proyecto, indicando el camino crítico actual.

b2) Dibuje la carta Gantt del proyecto remanente, indicando la holgura de las actividades cuando corresponda (barra llena para la actividad, barra vacía para indicar su holgura total).

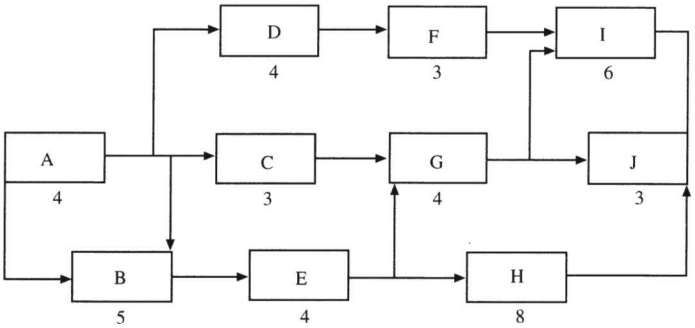
4. La siguiente malla representa el plan de ejecución de un proyecto. Las duraciones están expresadas en semanas.



- Usted ha sido informado que el mandante desea que el proyecto sea finalizado en un plazo de 14 semanas, y de acuerdo al contrato, se ha pactado una multa de $150.000 por semana de retraso. Por cada semana de adelanto, el mandante ha ofrecido un incentivo de $100.000. Debido a esto, Ud. ha desarrollado la tabla que se adjunta a continuación:
- Los gastos generales más gastos indirectos se han calculado en $250.000/semana.
- De acuerdo a los antecedentes dados, ¿Cuál es la duración óptima del proyecto? (Nota: para el cálculo de la malla, asuma continuidad obligada).

Actividad	Duración normal	Duración de rotura	Costo normal	Costo de rotura
A	3	2	1.200.000	1.450.000
B	5	3	1.800.000	2.200.000
C	8	4	2.400.000	3.000.000
D	6	6	3.600.000	3.600.000
E	7	4	1.400.000	2.300.000
F	4	3	2.000.000	2.200.000
G	5	3	2.500.000	2.680.000
H	6	4	1.500.000	2.000.000

5- La malla de la figura representa el plan de ejecución de un proyecto que se va a llevar a cabo y cuyo plazo contractual es de 17 semanas. Las duraciones están expresadas en semanas y se asume continuidad obligada en la ejecución de las actividades.



El costo directo de las actividades se indica en tabla a continuación (en $s):

Actividad	Duración normal	Costo normal	Duración rotura	Costo rotura
A	4	800.000	3	860.000
B	5	600.000	3	760.000
C	3	1.000.000	2	1.200.000
D	4	500.000	2	600.000
E	4	900.000	2	1.020.000
F	3	600.000	1	680.000
G	4	1.000.000	2	1.200.000
H	8	1.200.000	4	1.400.000
I	6	600.000	3	750.000
J	3	800.000	2	1.000.000

Los costos indirectos del proyecto se han determinado en base a la siguiente expresión: $800.000 + 50.000xD, siendo D la duración del proyecto en semanas. Además, el dueño del proyecto ha establecido una cláusula contractual en la cual se estipula una multa de $150.000 por cada semana de atraso sobre 17 semanas y un incentivo o premio de $100.000 por cada semana de adelanto de las 17 semanas.
Calcular la duración óptima para este proyecto, de acuerdo a las condiciones planteadas.

IX.
SEGUIMIENTO Y CONTROL DE PROYECTOS

9.1 Introducción

La necesidad de dominar el proyecto y lograr sus objetivos da origen al seguimiento y control de proyectos. Éstos son tan importantes como la planificación misma, ya que permiten realizar durante el transcurso del proyecto una comparación entre el desempeño actual y el planeado, permitiendo cambios en el proyecto cuando es necesario.

El seguimiento corresponde a la obtención y análisis de la información sobre el desempeño hasta el momento en que se realiza el control, usando como base de referencia y comparación a la planificación. Es así como se identifican variaciones en el plan, y se proyecta el desempeño hacia el futuro.

El control se refiere a tomar acciones en base a la información entregada por el seguimiento, es decir, actuar sobre factores que están produciendo variaciones. La función de control de proyectos es el elemento clave de una administración proactiva. Organizacionalmente, esta función debe responder directamente del administrador del proyecto y debe ser independiente de cualquier otra función.

Para realizar un seguimiento y control adecuados es necesario contar con una estructuración de las actividades de control en un formato que entregue un cuadro válido y oportuno del estado del proyecto, identificando áreas problemáticas que requieran atención especial de la administración.

En el control es conveniente utilizar el enfoque de la ley de Pareto, que indica que el 80 % del resultado de un proyecto es determinado por tan sólo el 20% de sus elementos. Por lo tanto, al establecer un sistema de control, la idea es aislar y controlar en detalle aquellos elementos con el mayor impacto potencial en el costo y plazo final

del proyecto, con sólo un nivel resumido de control para el resto de los elementos. Por ejemplo, la principal variable en el costo final de un proyecto es generalmente el costo de la mano de obra. El costo asociado a los otros recursos puede, por lo general, determinarse con mediana precisión, por lo cual el sistema de control deberá centrarse en la mano de obra.

9.2 Control

El control tiene como objetivo evaluar el desempeño real del proyecto, compararlo con los objetivos fijados, y de este modo corregir diferencias entre resultados y objetivos. Entre las variables típicas de control se tiene: tiempo, costo, calidad y progreso, pero cada proyecto puede tener diferentes variables de control. Las etapas de un proceso de control se pueden resumir en:

- Especificación: definición del resultado que se pretende alcanzar, estableciendo normas o estándares, junto con el objetivo. Se debe hacer una definición operativa en unidades objetivas y medibles (indicadores).
- Ejecución: se refiere a la materialización de un proyecto según lo especificado, es decir cumpliendo el objetivo.
- Inspección: juicio relativo a si la ejecución cumple o no con la especificación. Como resultado se determina si se necesita o no de acciones correctivas.

Los tipos de control de un proyecto se pueden dividir en: control preliminar, el cual se refiere a prevenir posibles desvíos, definiendo qué controlar, qué medir y cómo; control concurrente, consistente en realizar un seguimiento de las operaciones en curso para asegurar que se procure alcanzar los objetivos y control de retroalimentación, donde se hace un análisis de los resultados finales, con el fin de obtener información que permita en el futuro tener elementos para determinar qué analizar y qué indicadores de desempeño utilizar.

El control de gestión tiene como objetivo analizar, evaluar y actuar sobre todos los aspectos que tienen relación con el cumplimiento de los objetivos establecidos para un proyecto. Esto se logra haciendo mediciones del desempeño, obteniendo un plan o estándar de desempeño, y generando posteriores informes de control. En la actualidad los sistemas computacionales son de gran ayuda para llevar a cabo el control de gestión, particularmente para el almacenamiento y procesamiento de datos.

El ciclo del control de gestión se puede resumir en la figura 9.1. Por ejemplo, una empresa desarrolla un proyecto consistente en capacitación a sus obreros, cuyo objetivo es aumentar la producción de la empresa. Para esto se introducen modificaciones al antiguo plan de capacitación de la empresa. En el transcurso del proyecto se realizan mediciones, las cuales permitirán determinar si se está logrando el objetivo

del proyecto. Estas mediciones se evalúan de acuerdo a criterios de decisión previamente establecidos, generando un plan o estándar de control. De este modo se determinarán las nuevas variables a controlar en las futuras mediciones del proyecto, sufra éste o no nuevas modificaciones. La tabla 9.1 muestra ciertos criterios de control que pueden ser utilizados.

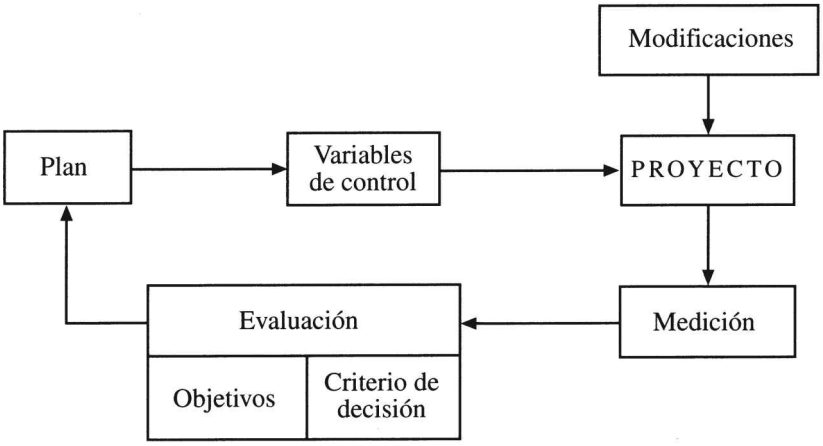


Figura 9.1 Ciclo del Control de Gestión.

Tabla 9.1: Criterios de Control.

Criterios de control	Datos Cuantitativos	Datos Cualitativos
Tiempo y Costo	Inicios y términos revisados Inicios y términos reales Avances a la fecha Pendiente por hacer Costos a la fecha Costos para terminar	Riesgos producidos Principales causas de pérdidas
Calidad	Costos de Calidad	Problemas o fallas de Calidad
Organización		Demoras externas Incumplimiento de responsabilidades
Alcance		Cambios al alcance Problemas especiales
Otros		Evaluación general de desempeño

Las medidas de desempeño o éxito de un proyecto, requieren el conocimiento de lo que quiere el cliente o patrocinador del proyecto. Se requiere interacción con el cliente, y generalmente es una tarea difícil lograr la abstracción necesaria para generar medidas que sean objetivamente mensurables. Las principales dificultades con las que uno se debe enfrentar es la falta de comprensión del proyecto, presión por los resultados y falta de focalización en resultados objetivos. Es por ello que es importante definir cómo se va a medir el éxito del proyecto una vez finalizado y qué es lo que se espera obtener a cambio del dinero que se va a gastar. Se debe tener en cuenta que existen también medidas que no son fácilmente medibles, como por ejemplo, querer mejorar el servicio al cliente o ser los líderes en el mercado.

La forma de ejercer el control es a través de la recepción de informes y la comparación de éstos con el plan. Un informe efectivo debe estar hecho con relación al plan, con criterios de control previamente definidos y herramientas de control simples y amigables. Es importante que los informes sean discutidos en reuniones formales, y deben estimular una discusión creativa. Los informes de proyecto típicamente utilizados son:

- Informe de estado: al término de etapas específicas con relación al logro de progresos técnicos.
- Informe de avance: semanal o mensual, preparado por cada líder de proyecto o actividad.
- Informes de problemas que requieren atención particular. En estos casos es conveniente utilizar un formulario.
- Informes de cambios al alcance del proyecto, generalmente a través de formularios.
- Informe final.

Un control activo requiere de reuniones de equipos de trabajo a distintos niveles y con diversos propósitos. Una reunión de revisión técnica tiene como objetivos evaluar el avance técnico con respecto a planes establecidos, identificar problemas técnicos y determinar acciones para resolverlos en forma oportuna. Generalmente son de tipo semanal. En una reunión de revisión de diseño, en cambio, se evalúan y reevalúan la validez y aplicabilidad del diseño de proyectos. Pueden ser mensuales, y en ellas se maneja una visión integradora del desarrollo del proyecto con relación al plan. Finalmente, una reunión de revisión de programa tiene el objetivo de evaluar el estado del programa, y puede realizarse semanal, quincenal o mensualmente.

9.3 Medición del Avance Físico

La medición del avance de un proyecto es una componente clave para un adecuado seguimiento y control. Existen varios métodos de medición del avance físico de un proyecto.

Unidades completadas
Método aplicable a tareas que involucran la producción repetitiva de unidades de trabajo fáciles de medir y que individualmente requieren una cantidad similar de trabajo. El avance se mide como la relación entre el número de unidades ejecutadas vs. el número total de unidades.

$$Avance\ (\%) = \frac{Unidades\ ejecutadas}{Unidades\ totales} \times 100$$

Hitos incrementales
Aplicable a cualquier grupo de tareas y subtareas que deban desarrollarse en forma secuencial. El término de estas tareas u operaciones es considerado como el cumplimiento de un hito que representa un porcentaje del trabajo total del programa. En construcción, el porcentaje representado por cada evento se basa generalmente en el número de Horas-Hombre (HH) estimadas como requeridas hasta dicho punto en relación al total.

Ej.: Instalación de Equipo.

- Recepción e Inspección. 15%
- Preparación Terminada. 30%
- Alineación Completa. 50%
- Instalación de Instrumentos y Otros. 75 %
- Pruebas Completas. 90%
- Recepción por Cliente. 100%

Razón de Costo
Este método se aplica a aquellas tareas que involucran un largo período de tiempo y son estimadas y presupuestadas en función de presupuestos globales, es decir, en base a asignación de fondos u horas hombre y no en función de la producción.

$$AVANCE\ FÍSICO = \frac{HH\ Actuales}{HH\ \text{Presupuestadas}} = \frac{\$\ Actuales}{\$\ \text{Presupuestados}}$$

Método Comienzo/Término
Se utiliza en proyectos y actividades de difícil medición, ya que no presentan acontecimientos intermedios definibles o cuya razón esfuerzo/tiempo es difícil de determinar. Por ello, una vez comenzada la actividad, se le asigna arbitrariamente un avance (por ejemplo: 20-30 %) y al término se completa a 100%.

Actividades de este tipo son: el desarrollo de un programa computacional innovador, un proyecto de investigación, etc.

Opinión Subjetiva
Debe utilizarse cuando no existen mecanismos de medición objetiva del avance del proyecto o actividad.

Unidades Equivalentes o Ponderadas
Este método se aplica cuando el proyecto controlado involucra una duración considerable de tiempo y está compuesto además de dos o más actividades que se traslapan, cada una con diferentes unidades de medición de trabajo.

Un ejemplo típico de aplicación de este método corresponde al montaje de estructuras de acero, como se muestra a continuación.

Peso o Ponderación	Tarea	Unidad	Total	Total Acero Equivalente	A la fecha	Toneladas Ganadas
0.02	Pernos de fundación	c/u	200	10.4	200	10.4
0.02	Platinas	%	100	10.4	100	10.4
0.05	Posicionamiento	%	100	26.0	100	26.0
0.06	Columnas	c/u	84	31.2	74	27.5
0.10	Vigas	c/u	859	52.0	0	0.0
0.11	Diagonales	c/u	837	57.2	0	0.0
0.20	Cerchas	c/u	38	104.0	0	0.0
0.09	Aplomo y Alineación	%	100	46.8	5	2.3
0.30	Conexiones	c/u	2.977	156.0	74	3.9
0.05	Chequeo	%	100	26.0	0	0.0
1.00	**Acero**	**Ton.**		**520**		**80.5**

Total Acero equivalente = Ponderación * 520 ton.
Toneladas Ganadas = (A la fecha) * (total acero equivalente) / (total).

El peso o ponderación introduce la importancia relativa de una actividad en relación a las otras y permite expresar los avances de actividades de distinta naturaleza, en unidades comparables. Entre los criterios de ponderación se tienen: volumen de obra, horas-hombre, costo estimado, duración estimada, horas equipos, valores arbitrarios, combinaciones, etc. Lo importante es usar como base de la ponderación aquel factor del trabajo que mejor represente el contenido de trabajo de cada operación.

9.3.1 Índices de Avance
El avance total de una obra se determina con la suma de avances parciales, existiendo dos criterios de medición del avance:

- **Índice de Avance Teórico o con presupuesto fijo**: La cantidad de obra se considera siempre constante, de modo que el avance siempre aumenta con la obra ejecutada. Si se usa este sistema, el avance Real generalmente es menor que el indicado y en

consecuencia un 100% de avance Teórico no indica que el trabajo esté necesariamente terminado.

- **Índice de Avance Real o con presupuesto variable**: Usando este sistema, se considera una cantidad de obra variable de modo que es posible que no siempre exista un aumento de avance Real al aumentar la obra ejecutada. Éste es un método más exacto de medir avance en el que un 100% indica que el trabajo ha sido completado.

Un parámetro interesante es el **Aumento de obra:**

$$AUMENTO\ DE\ OBRA\ (\%) = \left[\frac{Índice\ Teórico}{Índice\ Real} - 1\right] \times 100$$

Tomemos por ejemplo el caso de una actividad que lleva un avance teórico de 80%, y que ha sufrido en el transcurso del proyecto una disminución de volumen de 15%. En este caso el aumento de obra es por lo tanto –15%.

Avance real = 80/0,85 = 94,1%

Es decir, aunque el avance teórico de la actividad sea un 80%, en la realidad, debido a la disminución de volumen lo que queda por hacer es menos que 20%, sólo falta un 5,9% de trabajo para completar la actividad.

9.4 Control de Costos

El control de costos es una herramienta de gran importancia para el adecuado desarrollo de un proyecto: permite detectar problemas tempranamente, de modo de tomar decisiones oportunas; provee información oportuna y significativa para cada uno de los responsables de un proyecto; crea una atmósfera de preocupación por los costos; mantiene la comunicación dentro de la organización y permite controlar y/o minimizar los costos del proyecto.

Los aspectos esenciales de este control son la obtención de información, y el análisis y control de costos. La obtención de información de costos se refiere principalmente a conocer qué es lo que se debe hacer, qué es lo que se ha hecho y qué queda por hacer. El análisis y control se refiere a conocer oportunamente lo que está mal y por qué, tomar acciones correctivas y controlar los resultados de las acciones correctivas.

La curva S, como ya se vio en un capítulo anterior, representa el avance acumulado del trabajo que debe ser realizado en un proyecto a lo largo del tiempo. Recibe su nombre debido a la forma característica que esta curva tiene en los proyectos de

construcción. Esta curva es una herramienta que permite comparar el avance real de un proyecto con el avance esperado, para una determinada fecha de control. En el ejemplo de la figura 9.2 se puede apreciar que, en la fecha de control, puede haber ocurrido que la estimación de costos sea mayor que lo real, o bien se ha ejecutado menos trabajo que el presupuestado a la fecha.

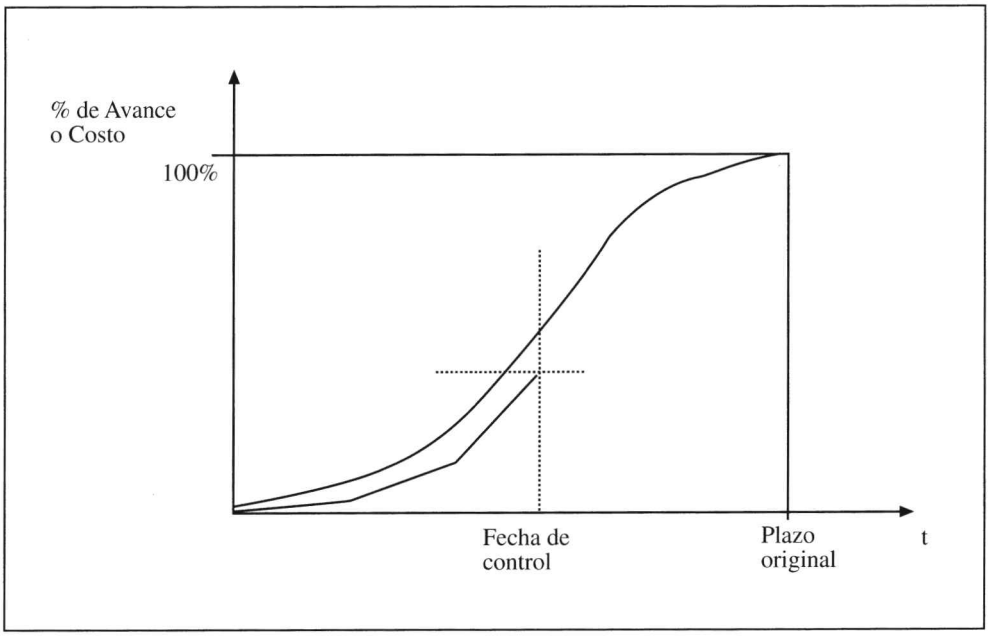


Figura 9.2 Curva "S" y su aplicación en control.

En un control de proyecto, lo que más interesa es saber cuan bien ha sido ejecutado el trabajo en comparación con lo planeado, ya sea en términos de costo o tiempo. Para lograr esto, se utilizan los conceptos del método del Valor Ganado, donde se definen las siguientes variables: Presupuesto al Término, Estimación al Término, Estimación Para Terminar, Costo Actual del Trabajo Ejecutado, Costo Presupuestado del Trabajo Ejecutado y Costo Presupuestado del Trabajo Programado.

Presupuesto al Término (PAT)

Es un número presupuestario que representa todo el trabajo autorizado. El presupuesto al término no debe cambiar a no ser que se cambie el alcance del proyecto o se apruebe una modificación en forma específica.

Estimación al Término (EAT)
Número de fondos que representa todo el dinero que se va a gastar dada cierta cantidad de información del desempeño del proyecto ya en desarrollo. Puede cambiar con cambios respectivos del alcance del proyecto.

Costo Presupuestado del Trabajo Programado (CPTP)
Es el presupuesto, distribuido en el tiempo, de los recursos requeridos para completar el proyecto completo. Corresponde a la Base de Medición de Desempeño.

Costo Presupuestado del Trabajo Ejecutado o valor ganado (CPTE)
Corresponde al valor total del trabajo ejecutado a una cierta fecha, de acuerdo al presupuesto.

Costo Actual del Trabajo Ejecutado (CATE)
Son los fondos que han sido utilizados en la realidad para el trabajo ejecutado.

Estimación Para Terminar (EPT)
La EPT son los fondos requeridos para completar el trabajo que queda. Cuando se agrega al Costo Actual del Trabajo Ejecutado (CATE), resulta en la Estimación al Término (EAT).

A partir de los términos anteriores, se definen las varianzas de programa y de costo, y los índices de programa y costo.

$$VP = CPTE - CPTP$$

$$IDP = \frac{CPTE}{CPTP}$$

$$VC = CPTE - CATE$$

$$IDC = \frac{CPTE}{CATE}$$

Donde:
- VP = varianza de programa
- VC = varianza de costo
- IDP = índice de desempeño de programa
- IDC = índice de desempeño de costo

Es muy importante notar la diferencia entre presupuestos y fondos. Un presupuesto es un número escrito en un papel, que no puede gastarse, mientras que los fondos son reales y están conformados por los gastos realizados y las estimaciones de los futuros gastos. Las principales variables son: para el presupuesto, CPTP, CPTE y PAT; y para los fondos: EPT, CATE y EAT.

El concepto de Valor Ganado permite determinar el porcentaje global de avance del proyecto o de una combinación de actividades diferentes, y desarrollar otras evaluaciones del estado del proyecto. El valor ganado se basa en el presupuesto del proyecto, el cual normalmente es expresado tanto en unidades monetarias como en HH.

Cuando se tiene un sistema de presupuesto fijo, se asume que un presupuesto fijo de control ha sido establecido para el proyecto y ha sido distribuido entre las cuentas del proyecto. En este caso:

VALOR GANADO % = (% AVANCE) x (PRESUPUESTO CUENTA)

Cuando se tiene presupuesto fijo, el valor ganado no puede ser mayor que el presupuesto para la cuenta.

Un sistema de presupuesto variable es aplicable a proyectos que son iniciados con una base de definición incompleta y cuyo presupuesto está sujeto a una variación considerable. A medida que las actividades del proyecto son definidas, el presupuesto es ajustado de modo de reflejar el trabajo final.

Los métodos de cálculo de avance, varianza de programa, índices de avance, varianza de costo e índice de costo son totalmente aplicables en este sistema, de la misma forma que para el caso de presupuesto fijo. Las HH ganadas pueden calcularse multiplicando el porcentaje de avance por el presupuesto ajustado.

Un presupuesto variable requiere mayor atención y cuidado, y permite una evaluación directa de la productividad, ya que el presupuesto móvil varía directamente con las cantidades reales de trabajo.

Por su parte, el presupuesto fijo requiere un sistema especial para la evaluación de la productividad, sin embargo permite evaluar directamente el costo y programa. Además, simplifica los registros y provee una meta para la administración. Los datos de desempeño son susceptibles de distorsiones si el presupuesto no es distribuido en forma realista.

9.4.1 Ejemplos de aplicaciones

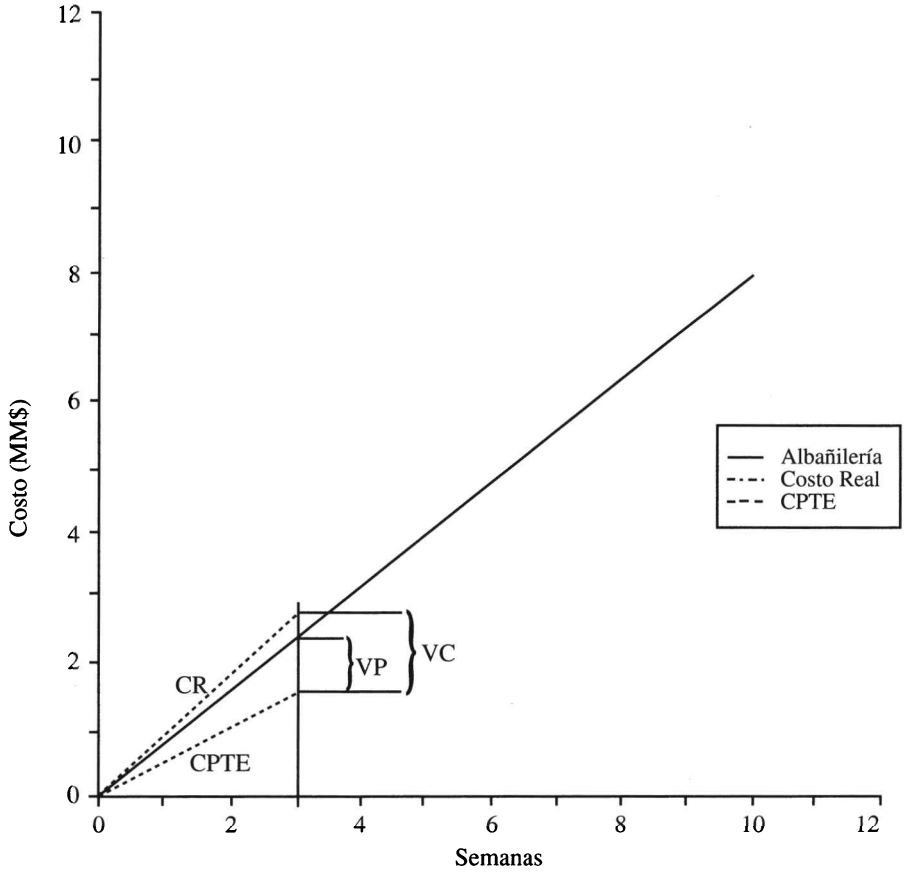
EJEMPLO 1

Se ha proyectado una construcción de albañilería cuyo costo es de $ 20.000/m². El volumen de obra que ha sido programado es de 500 m² y la duración estimada para realizar este trabajo es de 10 semanas.

Se realiza un control al final de la tercera semana y se obtienen los siguientes antecedentes del proyecto:

- Avance Programado a la Fecha: 30%.
- Avance Real a la Fecha: 20%.

Para resolver este tipo de ejercicios, es conveniente dibujar un gráfico con el fin de identificar cada una de las curvas que se están dando como condiciones iniciales del problema y adicionalmente poder ubicar los puntos correspondientes a la fecha de control.



EJEMPLO 2

Se presenta a continuación la planificación de un proyecto dividido en cinco actividades, con los plazos y costos presupuestados para cada actividad durante su ejecución.

Actividad	Dur	Costo Total	Meses 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	2	200.000	100.000	100.000								
B	4	600.000		150.000	150.000	150.000	150.000					
C	6	300.000			50.000	50.000	50.000	50.000	50.000	50.000		
D	4	800.000						200.000	200.000	200.000	200.000	
E	2	120.000									60.000	60.000
		2.020.000	100.000	250.000	200.000	200.000	200.000	250.000	250.000	250.000	260.000	60.000

Al término del sexto mes de trabajo se realiza un control y se presenta la siguiente situación:

- Actividad A: terminada con un costo total de $ 250.000
- Actividad B: terminada con un costo total de $ 600.000
- Actividad C: 30% de avance con un costo de $ 150.000
- Actividad D: 30% de avance con un costo de $ 300.000

Para determinar las varianzas de costo y programa se utilizan las siguientes expresiones:

VP = CPTE - CPTP

VC = CPTE - CATE

Actividad	CATE	CPTE	CPTP
A	250.000	200.000	200.000
B	600.000	600.000	600.000
C	150.000	90.000	200.000
D	300.000	240.000	200.000
	1.300.000	**1.130.000**	**1.200.000**

De este modo:
VP = -70.000

VC = -170.000

Al obtener que la varianza de programa es negativa, se deduce que se ha realizado menos trabajo que el presupuestado, es decir, el proyecto está atrasado. A su vez, la varianza de costo negativa nos indica que además se ha gastado más de lo presupuestado, es decir, el proyecto está saliendo más caro.

Para realizar una estimación de cuál será el valor final del proyecto a partir de la fecha de control, se pueden utilizar varios criterios. A continuación se presentan los criterios más comunes:

1er criterio
El proyecto se desarrollará en adelante de la misma forma como se ha desarrollado hasta ahora.

$$EPT = \frac{(CT - CPTE)}{IC}$$

donde:
CT: Costo total inicialmente estimado del proyecto o presupuesto al término.

$$EAT = CATE + EPT$$

2do criterio
El proyecto se desarrollará según se había presupuestado inicialmente.

$$EPT = CT - CPTE$$

$$EAT = CATE + EPT$$

3er criterio
El presupuesto al término se calcula a partir del costo remanente de cada actividad.

En el caso de nuestro ejemplo, las estimaciones al término para el proyecto según los diferentes criterio son las siguientes:

- 1er criterio
  EPT = (2.020.000 – 1.130.000)/0,87 = $1.023.000

  EAT = 1.300.000 + 1.023.000 = $2.323.000

- 2do criterio
  EPT = 2.020.000 – 1.130.000 = $890.000

  EAT = 1.300.000 + 890.000 = $2.190.000

- 3er criterio
  Costos remanentes:

  A = 0 (terminada)

  B = 0 (terminada)

  C = 150.000*70/30 = 350.000

  D = 300.000*70/30 = 700.000

  E = 120.000 (no ha comenzado)

  EPT = 350.000 + 700.000 + 120.000 = $1.170.000

  EAT = 1.300.000 + 1.170.000 = $2.470.000

9.5 Proyectos en Problemas

Existen muchas razones que pueden llevar a un proyecto a una situación problemática. Las principales causas de problemas en el desarrollo de un proyecto se pueden resumir en las siguientes:

- Errores serios de estimación.
- Trabajo rehecho por problemas de calidad.
- Trabajo rehecho por introducción de cambios.
- Demoras externas.
- Matriz de responsabilidades no es aplicada.
- Problemas de capacidad del recurso humano.
- Problemas de motivación y credibilidad.
- Falta de apoyo de la gerencia.
- Errores serios de planificación.

Si un proyecto se encuentra en problemas, lo primero que debe hacerse es analizar y pensar la situación, tratando de identificar las causas de los problemas que está enfrentando. Es conveniente mirar, escuchar y aprender, y desarrollar opciones para solucionar la situación. Luego, se deberá seleccionar el curso de acción más apropiado y ganar apoyo para la solución escogida. Es importante actuar y continuar con el seguimiento del proyecto.

Generalmente las opciones disponibles al encontrarse con un proyecto en problemas son: encontrar una solución alternativa para desarrollar el proyecto, comprometer costo, asignando más recursos, comprometer tiempo, atrasando el proyecto y comprometer el alcance del proyecto, eliminando aspectos no esenciales del mismo. Finalmente siempre queda la posibilidad de simplemente abortar el proyecto, alternativa que puede ser en algunas ocasiones la mejor.

En el caso específico de requerir la disminución de la duración del proyecto, se pueden considerar alguna o varias de las siguientes acciones:

- Revisar la lógica del plan del proyecto, con énfasis en la eliminación de restricciones de secuencia innecesarias o no estrictamente requeridas.
- Analizar los métodos de ejecución del programa verificando si no existen otras alternativas más eficientes y productivas.
- Usar sobretiempo de modo de lograr recuperar pérdidas que han ocurrido durante el desarrollo del proyecto. Hay que considerar que el sobretiempo tiene un costo adicional y reduce significativamente la productividad de la mano de obra cuando se usa por períodos muy prolongados.
- Sustitución de recursos que producen demora, incorporando maquinaria y herramientas más modernas, con mejores rendimientos. Mejorar la selección de personal buscando mejores calificaciones al contratar, etc.
- Utilizar sistemas de incentivos para el personal, subcontratistas, proveedores y otros participantes del proyecto.
- Realizar actividades de análisis del valor del proyecto y sus componentes, de modo de revisar el valor que agregan todos los componentes de su alcance y reducir aquellos que no agregan un valor relevante para los objetivos del proyecto.

9.6 Resumen

En este capítulo se ha querido enfatizar la importancia del seguimiento y control de un proyecto, los cuales son tan importantes como la planificación misma. Es así como se han entregado formas y criterios para el control de un proyecto.

El seguimiento corresponde a la obtención y análisis de la información sobre el desempeño de un proyecto hasta el momento en que se realiza el control. Este último se refiere a tomar decisiones en base a la información entregada por el seguimiento.

Para lograr lo anterior se definen herramientas tales como: criterios de control, medidas de desempeño, medidas de avance del proyecto, índices de avance, etc. Al finalizar este capítulo el lector debería estar preparado para realizar adecuadamente un seguimiento y control en forma criteriosa.

9.7 Ejercicios

Conceptos

1. ¿Qué se entiende por seguimiento y control de proyectos? ¿De qué forma se puede utilizar el enfoque de la Ley de Pareto en estas importantes funciones?

2. ¿Qué significado tiene, respecto al volumen de obra ejecutado, que el índice de avance real sea 70% y el de avance teórico sea 100%?

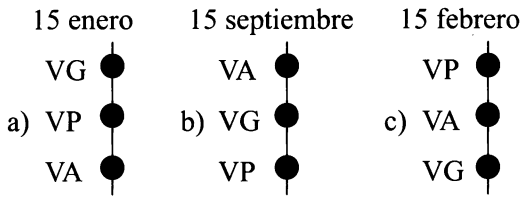
3. Se analizan los datos de control de un proyecto, donde se ha determinado que la varianza de costos a la fecha VC= $2.000.000; la varianza del programa VP= -$1.000.000 y el índice de avance, IA= 0,9. Determine el valor ganado (CPTE), el valor planeado (CPTP) y el valor actual (CATE) a la fecha.

4. Describa brevemente dos métodos utilizados para medir el avance físico de un proyecto.

5. Explique cuatro causas distintas que podrían provocar una varianza de costos negativa durante la ejecución de un proyecto.

6. ¿Cuáles son los aspectos a considerar en la selección del criterio de ponderación a usar en el control de un proyecto? ¿Qué efectos o consecuencias puede producir la utilización de un criterio de ponderación inadecuado?

7. Suponga que Ud. cuenta con la siguiente información gráfica de un proyecto en varias fechas. Haga una evaluación cualitativa de la situación del proyecto para cada fecha, explicando claramente sus conclusiones



Donde VG = Valor Ganado; VP = Valor Planeado; VA = Valor Actual

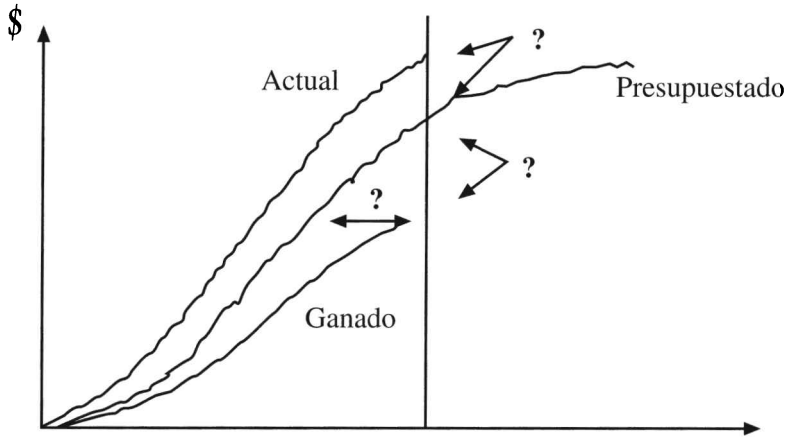
8. Al analizar los datos de control de un proyecto, se ha determinado que la varianza de costos a la fecha, VC= -$1.000.000; la varianza del programa, VP=-$500.000 y el índice de costos, IC= 0,5. Determine el valor ganado, valor planeado y valor actual a la fecha.

9. ¿Qué representa la curva «S» y cómo se determina?

10. ¿Qué críticas importantes la haría usted al modelo de la curva S para el control del tiempo y costo de un proyecto?

11. Compare el sistema de presupuesto fijo con el de presupuesto variable para el control de proyectos.

    a) Explique los parámetros que corresponden a las incógnitas en el siguiente gráfico:



    b) Haga una evaluación cualitativa de la situación del proyecto representado en el gráfico anterior explicando claramente sus conclusiones.

12. Indique la interpretación que Ud. le daría a las siguientes situaciones de análisis:

    a) Holgura total < 0, Índice de programa > 1.0
    b) Holgura total = 0, Índice de programa < 1.0
    c) Holgura total < 0, Índice de programa = 1.0
    d) Holgura total > 0, Índice de programa < 1.0
    e) Holgura total > 0, Índice de programa = 1.0

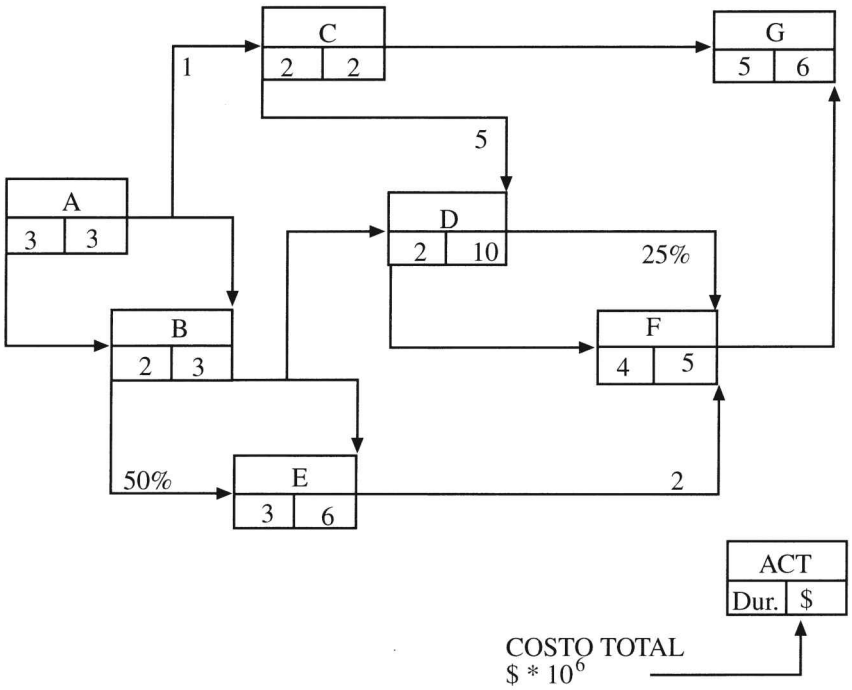
Problemas

1. Calcule el avance total de la siguiente actividad cuyos datos se entregan en la tabla a continuación:

Peso o Ponderación	Tarea	Unidad	Total	Ton. acero acero equivalentes	A la fecha	Toneladas ganadas
0,03	Pernos de fundación	c/u	100	20	100	20
0,07	Platinas	%	100	40	100	40
0,17	Columnas y vigas	c/u	150	100	75	50
0,08	Diagonales	c/u	150	50	50	15
0,34	Cerchas	c/u	50	200	20	80
0,25	Conexiones	c/u	1000	150	400	60
0,06	Inspección	%	100	30	15	15
1,00	Estructura de acero	Ton.				

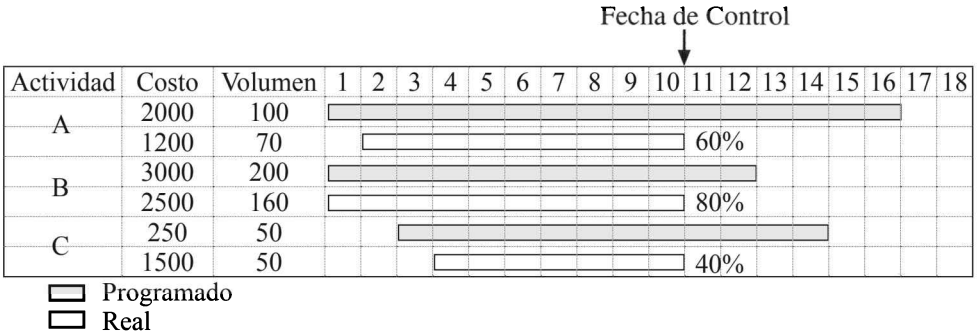
2. Usted está controlando la ejecución del proyecto que se muestra en la figura a continuación. Al término de la octava semana se obtiene la siguiente información de seguimiento:

- Las actividades A, B, C, están terminadas con un costo real de $ 8.500.000
- La actividad D tiene ejecutado el 40% con un costo real de $ 300.000
- La actividad E tiene ejecutado el 50% con un costo real de $ 2.500.000
- La actividad F tiene ejecutado el 10% con un costo real de $ 1.000.000
- La actividad G tiene ejecutado el 5% con un costo real de $ 1.000.000



Haga el seguimiento, completo, para las actividades E, y G

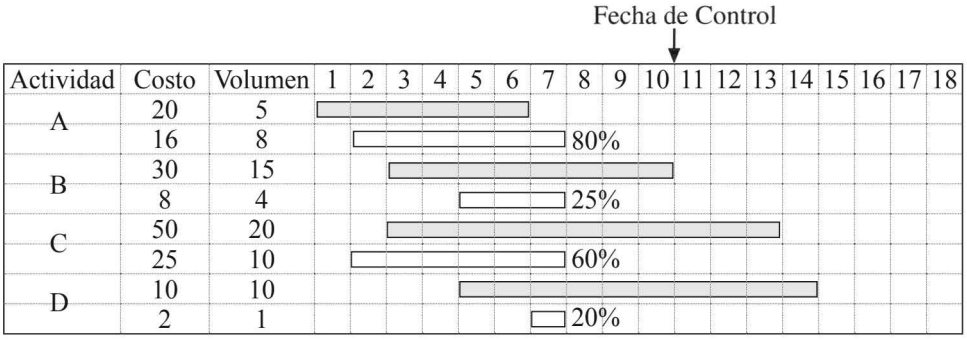
3. Usted ha recibido la siguiente carta Gantt como información de control de su proyecto (costos en miles de pesos):



A partir de la información entregada, determine los siguiente datos a la fecha de control indicada:

a) Avance teórico y avance real.
b) Varianza de costo y de programa.
c) Estimación de costo al término.
d) Estimación de plazo final.

4. Usted tiene la siguiente carta Gantt como información de control del proyecto que dirige.



A partir de la información mostrada, estimar lo siguiente:

a) Índice de avance teórico y real total.

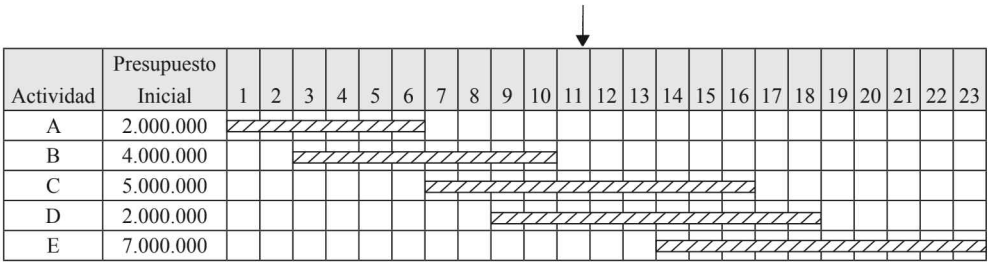
b) Ahorro o pérdida a la fecha en relación al presupuesto.

c) Avance programado y real total indicando porcentaje de avance o atraso a la fecha.

d) Costo y plazo final de la obra.

5. A continuación se entrega la carta Gantt correspondiente a la construcción de una obra contratada según la modalidad de precios unitarios. Se hace un primer control de avance al término de la onceava semana, el cual arroja los siguientes resultados:

- La actividad A está terminada con un costo final de $ 2.800.000
- La actividad B tuvo un aumento de un 25% en su cubicación inicial, manteniendo el precio unitario. Esta actividad lleva un avance de un 75% respecto de su nueva cubicación, con un costo de $ 3.000.000.
- La actividad C lleva un avance de un 50% con un costo de $ 4.000.000.
- La actividad D lleva un avance de un 75% de su nueva cubicación, la que disminuyó en un 30% manteniendo sus precios unitarios. Su costo a la fecha es de $ 2.000.000. Como antecedente adicional, esta actividad comenzó en su fecha programada.
- La actividad E lleva un avance de un 20% con un costo real de $ 1.000.000.



Estimar:

a) Costo final de la obra.

b) Plazo final de la obra.

c) Índices de avance teórico y real, indicando adelanto o atraso con relación al programa inicial.

d) Índice de costo teórico y real.

e) ¿Cuánto se lleva ganado o perdido a la fecha con relación al presupuesto?

X.
APLICACIÓN DE LA PLANIFICACIÓN

10.1 Introducción

Como una manera de unir los conceptos más importantes que se han aprendido durante todo el curso, se desarrollará un caso real de aplicación de la planificación y control de proyectos para efectos de ejercitación del lector, asumiendo que éste tiene acceso al software de planificación indicado. Para desarrollar el caso de aplicación se ocupará el software de planificación Microsoft Project TM[1]. Se aprovecharán muchas de sus herramientas, para programar y controlar el caso tal como se haría en la realidad. Con la existencia de estos softwares, se ha simplificado mucho la tarea de la programación y el control de proyectos. Es muy fácil realizar cualquier corrección y el tiempo que es necesario dedicarle a realizar un programa se reduce sólo al hecho de desarrollarlo ya que por medio de la impresora se obtienen los distintos tipos de programa sin necesidad de utilizar un lápiz (antes redibujar una malla o una carta Gantt era una tarea muy tediosa y que quitaba mucho tiempo). Todo el tiempo que se gana debiera ir en beneficio de tener una mejor programación y control en los proyectos; elemento que es fundamental en estos tiempos.

Para un mejor aprovechamiento del caso, se recomienda que el lector lo ingrese al computador a medida que avance en la lectura, practicando así las capacidades del programa.

---

[1] Vale la pena mencionar que además existen otros softwares de programación como: Texim Project, Primavera Project Planner, Harvard Project, y otros más.

10.2 Presentación del caso

Una empresa constructora dedicada al área inmobiliaria, está desarrollando un proyecto de 586 viviendas. Estas viviendas tienen un costo aproximado de U.F. 950, por lo que se acogen a un segmento del subsidio habitacional.

Las 586 viviendas están divididas en 6 condominios, unidos entre sí por áreas verdes y de esparcimiento. La construcción está hecha de bloques de cemento color, con un diseño especial, de modo de asegurar un mejor comportamiento frente a las precipitaciones.

La inmobiliaria, preocupada por mantener la buena imagen que ha logrado frente a los potenciales compradores, ha decidido realizar una recepción interna de las viviendas, de modo de asegurar la buena calidad de éstas.

Para la recepción interna se ha designado un jefe de terreno a cargo de una cuadrilla de remates (corrección de detalles que existan en las terminaciones) y un supervisor, el que estará a cargo de recepcionar las casas cuando estén en perfectas condiciones, y entregarlas a sus propietarios.

Como una primera etapa, se ha determinado que es necesario recepcionar los 2 primeros condominios (208 casas) entre el 3 de diciembre y el 2 de enero.

10.3 Desarrollo del plan de trabajo y definición de actividades

Para desarrollar la entrega de las casas, minimizando la posibilidad de atrasos, se desarrolló un plan de trabajo. Este plan consiste en una programación, donde se identificaron actividades para cada vivienda. Las actividades que se desarrollan en cada casa son las que se explican a continuación:

1. Rejunteo e impermeabilización: consiste en aplicar un hidrorrepelente a las fachadas de las casas y repasar todas las canterías con otro producto (rejunteo) que evita cualquier filtración de agua desde el exterior.

2. Sello de ventanas: a todas las ventanas se les cambia el sello de silicona que tenían por un sello acrílico de mejor calidad, también para asegurar que no ocurrirán filtraciones.

3. Prueba de agua: consiste en una prueba estandarizada que se realiza a todas las casas, para asegurar su impermeabilidad. Para esto se coloca un andamio con regadores de aspersión, los que mojan cada fachada de la casa por 10 minutos, para luego verificar que en el interior de las casas no hubo filtraciones. La prueba debe realizarse 4 días después de la aplicación del hidrorrepelente.

4. Prueba instalación agua potable: el subcontratista de instalaciones sanitarias, debe recorrer cada casa para verificar que la red de agua potable se encuentra si ningún problema al trabajar en régimen normal de presión.

5. Marcado de fisuras: en el interior de las casas, por motivos de retracción generalmente, se han producido algunas fisuras menores. Para su reparación, el supervisor pasa por cada vivienda, indicando todas las fisuras que existen, marcándolas con un plumón. Con esto se minimiza el problema de dejar pasar alguna fisura para su reparación

6. Reparación de fisuras: una vez marcadas pasa una cuadrilla de reparación, la que está encargada de repasar con una espátula la fisura y sellarla. Para esto se aplica primero un producto de sello elástico y luego se coloca el mismo tipo de pintura texturada que llevan las casas en su interior.

7. Reparación de filtraciones: si alguna casa ha presentado problemas en su instalación de agua potable, el contratista procede a su reparación.

8. Pintura: en general todos los muros en que se han hecho reparación de fisuras se le dará una mano de látex para lograr un color homogéneo. Además los muros que estén muy manchados también se pintarán.

9. Confección listado de detalles: el supervisor debe pasar por cada vivienda con una lista de chequeo, la que tiene por finalidad identificar todos los detalles de terminación que puedan haber quedado. Este listado se deja en cada casa para que luego el capataz vaya dando las diferentes instrucciones de trabajo a los maestros que están a su cargo.

10. Remates interiores: consiste en la corrección de todos los detalles interiores que indique el listado de detalles. Por nombrar algunos podemos mencionar los más típicos que son cambio de palmetas de cerámica rota, repaso con pintura en guardapolvos, remate de pintura en marcos de puerta, reparación de cornisas de poliestireno expandido, etc.

11. Remates exteriores: ídem anterior, pero por fuera de la vivienda.

12. Limpieza final: una vez terminada la corrección de detalles, es necesario hacer una limpieza para entregar la casa a sus propietarios

13. Sembrado de pasto: esta actividad es necesario realizarla una vez terminado todo el tráfico de maestros para evitar que se estropee la siembra.

14. Recepción de casas: el supervisor, una vez concluida todas las actividades, recepciona las casas y se hace responsable de ellas hasta la entrega a sus nuevos dueños.

10.4 Calendarios de trabajo

Antes de realizar una programación, es necesario establecer los calendarios de trabajo que se utilizarán y si habrá varios de ellos.

Como se vio en el capítulo 8 dentro de la planificación de un proyecto se puede usar más de un calendario. Esto puede ser por diferentes actividades (con o sin continuidad obligada), por distinta utilización de los recursos o por motivos de programa.

La mayoría de las actividades enumeradas en el punto anterior, se realizarán con gente dependiente de la empresa, por lo que parece lógico pensar que utilizarán un mismo calendario de trabajo. Otras de las actividades incluidas en el listado, se realizan por subcontratos, por lo que ellos tendrán por lo general un calendario propio de trabajo, según las exigencias del mandante sobre el ritmo de trabajo.

Noviembre						
L	M	M	J	V	S	D
						1
2	3	4	5	6	7	8
9	10	11	12	13	14	15
16	17	18	19	20	21	22
23	24	25	26	27	28	29
30						

Diciembre						
L	M	M	J	V	S	D
	1	2	3	4	5	6
7	8	9	10	11	12	13
14	15	16	17	18	19	20
21	22	23	24	25	26	27
28	29	30	31			

Figura 10.1 Calendario Normal.

A las actividades realizadas con recursos propios se les aplicará el calendario normal, que será de lunes a viernes y respetando los días feriados. Para el subcontrato de impermeabilización y el de prueba de agua se utilizará un calendario que incluye además los días sábados como días de trabajo.

Noviembre						
L	M	M	J	V	S	D
						1
2	3	4	5	6	7	8
9	10	11	12	13	14	15
16	17	18	19	20	21	22
23	24	25	26	27	28	29
30						

Diciembre						
L	M	M	J	V	S	D
	1	2	3	4	5	6
7	8	9	10	11	12	13
14	15	16	17	18	19	20
21	22	23	24	25	26	27
28	29	30	31			

Figura 10.2 Calendario del subcontrato de impermeabilización.

10.5 Programa de entrega

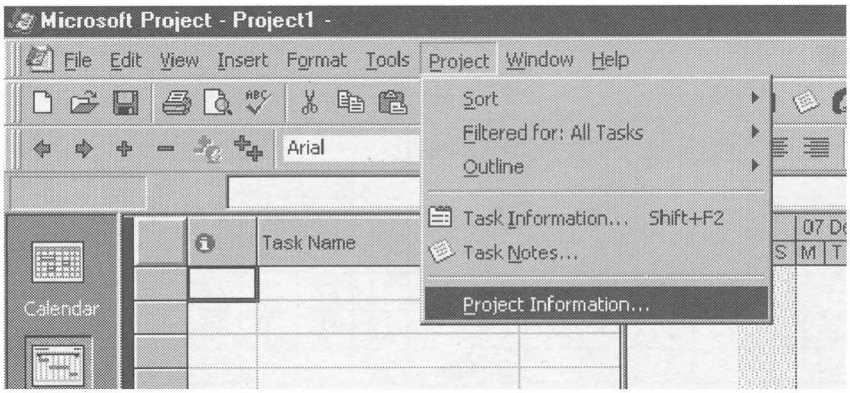
De modo de simplificar el trabajo y aprovechar al máximo las herramientas que nos entrega nuestro software, partiremos con el programa de entrega de una vivienda (después lo adaptaremos para la recepción de las 208 casas).

Como ya sabemos, para esto debemos determinar la duración de cada actividad y la dependencia que exista entre ellas. La duración individual de cada actividad no es el punto más relevante, ya que para cumplir con la entrega de las primeras 208 casas en el plazo dado será necesario programar para terminar a más tardar en la fecha propuesta. Lo que importa de este programa inicial es que se podrá determinar cuántos días hay que trabajar en cada casa para entregarla.

Para comenzar es necesario crear un nuevo proyecto. Dado que se usará el software Microsoft Project™ para la aplicación, explicaremos detalladamente los pasos a seguir para ocuparlo y poder desarrollar nuestro programa.

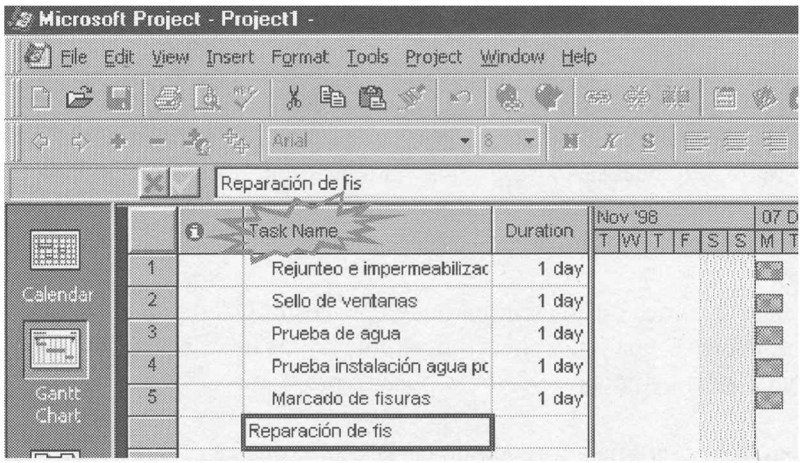
Para programar usaremos el modo de carta Gantt, que es el que viene definido por defecto. De todos modos uno puede cambiar libremente la manera de visualizar el programa que está realizando.

Al abrir el programa, se crea automáticamente un nuevo proyecto, pero es necesario ponerle la fecha de inicio del mismo. Esto en realidad se puede cambiar en cualquier momento, pero para llevar un orden lógico de los pasos a seguir, será lo primero que haremos.



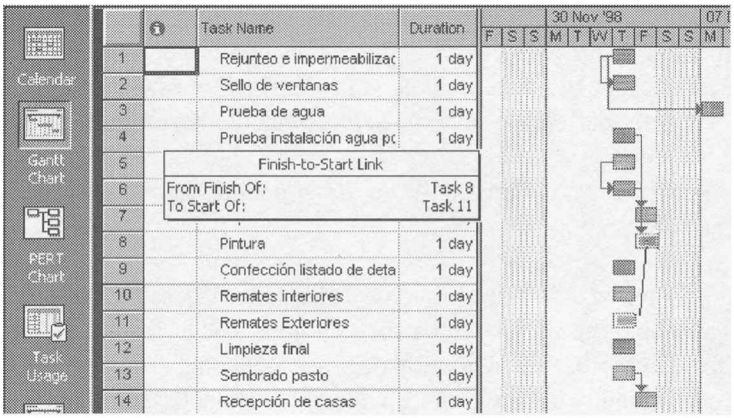
Anteriormente señalamos que la fecha de inicio del programa sería el 3 de diciembre, por lo tanto esta será la fecha que colocaremos en el casillero *fecha de inicio (start date)*.

Como las actividades ya las hemos definido, es necesario incluirlas en el proyecto que hemos creado. Para esto en la columna *Nombre Actividad (Task Name)* escribiremos todas las actividades.



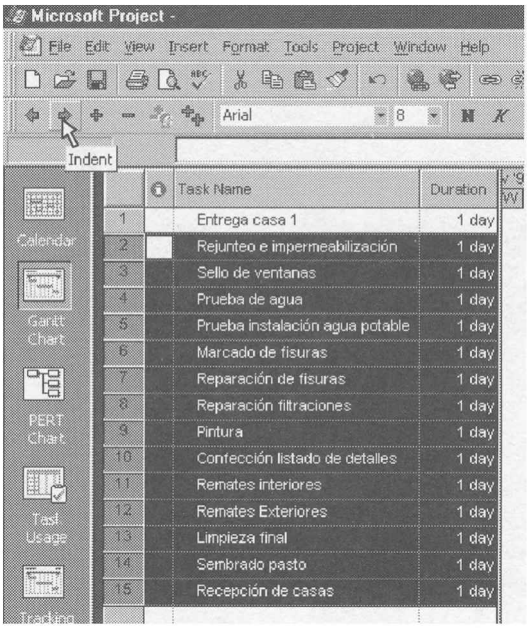
Cada vez que se ingresa una actividad en la columna, se le asigna automáticamente la duración de 1 día. Si uno tuviera la información de las actividades que compondrán el proyecto en otro programa como bases de datos u hojas de cálculo, uno puede copiarlas y pegarlas dentro de este programa.

Una vez que se ha terminado de ingresar las actividades es necesario relacionarlas unas con otras. Esto entregará la secuencia de ejecución del programa.



Para relacionar una actividad con otra basta colocar el cursor sobre la 1ª actividad y *arrastrar* hasta la 2ª actividad sin soltar el botón izquierdo del *mouse*. Después, con un *doble click* sobre la línea de relación que se creó, se puede especificar que tipo de relación une a esas 2 actividades. Por defecto es término-comienzo y sin desfase.

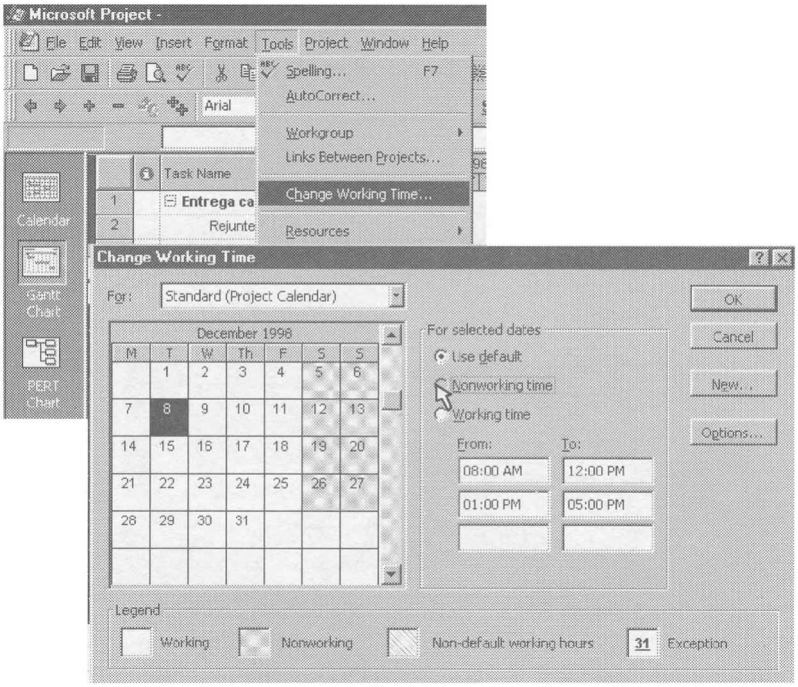
Para tener un total de la duración de esta parte del programa crearemos al final una nueva actividad que se llame *«Entrega casa 1»*, luego haciendo un *click* sobre el Nº de la actividad, la seleccionamos y *cortándola* la *pegamos* en el lugar de la 1ª actividad. La idea de colocarla como 1ª actividad es que cumpla la función de subtítulo, y así poder tener un subtotal de lo que está incluido dentro de esta actividad.



Para convertir a esta actividad en subtítulo es necesario seleccionar todas las actividades que quedarán dentro de ella. Luego se presiona el botón de la barra de herramientas que es una flecha hacia la derecha (*indent*). Con esto queda definida como subtítulo de las actividades que se había seleccionado anteriormente.

Cuando una actividad está como subtítulo, da la posibilidad de ocultar el resto, con un *doble click* sobre éste.

Antes de seguir completando la información de las actividades, es necesario hacer algunos cambios al calendario del proyecto para incluir los días feriados. El calendario para el subcontrato de impermeabilización y el de prueba de agua, lo definiremos después de incluir los recursos dentro del programa y realizar la nivelación de recursos. Esto servirá en caso de que al nivelar recursos, sobrepasemos la fecha límite de término.



Primero tenemos que seleccionar en el menú *change working time* y luego seleccionamos el día que queremos cambiar por feriado *(Nonworking time*)

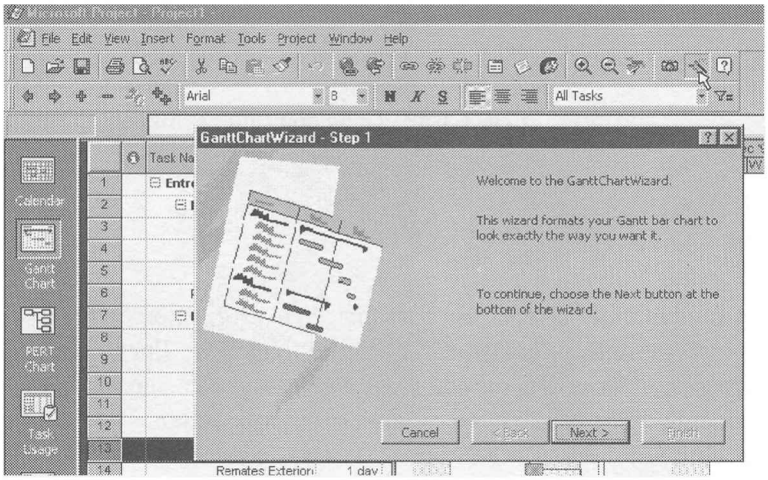
De la misma manera se procede para cambiar cualquier característica que tenga relación con el calendario y el horario de trabajo.

Para poder continuar con la elaboración de nuestro programa es necesario hacer una evaluación de cuanto se demora en terminarse cada unidad, y así determinar que cantidad de recursos tendremos que asignar para salir con la primera etapa de entrega dentro del plazo presupuestado. Este primer análisis es bastante global, pero nos permite determinar el ritmo aproximado de entrega de las casas.

Como ya sabemos, contamos con 15 días hábiles para entregar las 208 primeras casas. Suponiendo además que para tener lista cada casa es necesario trabajar durante 5 días (recordar que hay un desfase obligado entre la impermeabilización y la prueba de agua) para entregar la primera unidad, nos quedarían sólo 10 para recibir las 208 viviendas, ya que en los primeros días se estará trabajando, pero no recepcionando. Esto quiere decir que deberíamos estar recibiendo durante esos 10 días unas 20 casas diarias para poder salir dentro de la fecha de término que se ha establecido.

En resumen la unidad de entrega debe ser de 20 casas diarias a partir de la entrega de la primera unidad. Para dejar reflejado esto en el programa cambiaremos el nombre del subtítulo por *«Entrega casa 1-20»*.

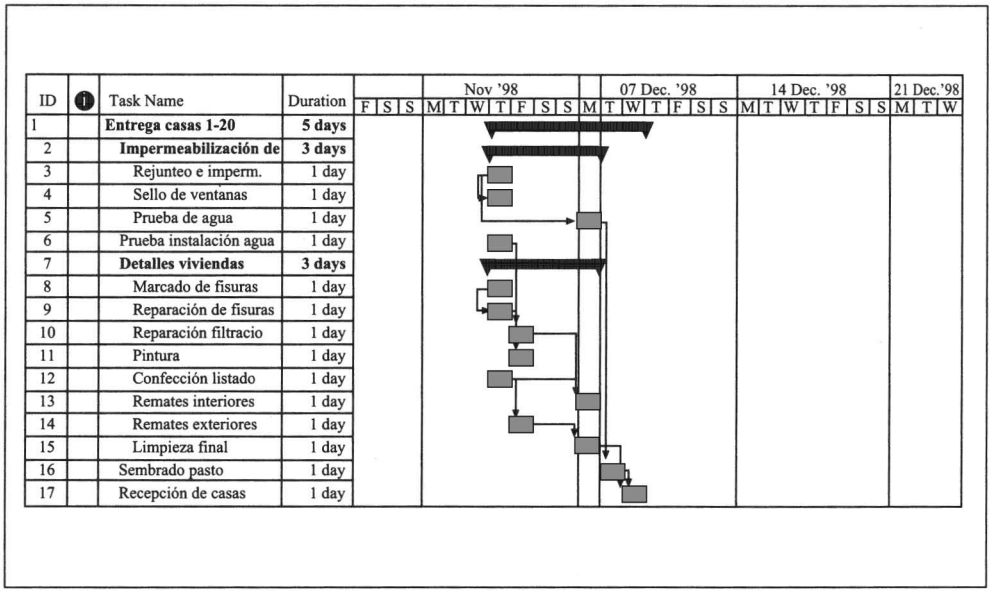
Para organizar el programa de mejor manera crearemos otros subtítulos y cambiaremos el formato de la vista de la Carta Gantt para que se distinga cual es el camino crítico.



Utilizando el Gantt Chart Wizzard es muy fácil darle el formato que necesitemos a la carta Gantt. Los otros subtítulos se hacen de la misma manera que se explicó anteriormente.

El aspecto final de esta primera etapa de nuestro programa se ve como se muestra en la figura 10.3.

El color rojo a que cambiaron algunas actividades, indica que son críticas. Este formato es factible de ser cambiado en cualquier momento. Además cualquier cambio que se realice en el programa, se actualiza automáticamente (se recalcula la malla sola) e indica de inmediato cual es el nuevo camino crítico si es que ha habido un cambio en éste.



ID	❶	Task Name	Duration
1		**Entrega casas 1-20**	**5 days**
2		**Impermeabilización de**	**3 days**
3		Rejunteo e imperm.	1 day
4		Sello de ventanas	1 day
5		Prueba de agua	1 day
6		Prueba instalación agua	1 day
7		**Detalles viviendas**	**3 days**
8		Marcado de fisuras	1 day
9		Reparación de fisuras	1 day
10		Reparación filtracio	1 day
11		Pintura	1 day
12		Confección listado	1 day
13		Remates interiores	1 day
14		Remates exteriores	1 day
15		Limpieza final	1 day
16		Sembrado pasto	1 day
17		Recepción de casas	1 day

Figura 10.3 Carta Gantt con camino crítico.

10.6 Asignación de recursos

Una parte fundamental dentro del programa, es la asignación de recursos. El Microsoft Project™ permite asignar recursos por actividades. Por la manera que trabaja con los recursos se podría decir que hay 2 maneras para asignarlos: unitariamente o según la cantidad que sea necesaria para terminar la actividad en el plazo que tiene definido. Esto varía según sea el tipo de programa; si los recursos son limitados, la duración del proyecto la determinará el uso de recursos, o si el plazo es el que limita, la cantidad de mano de obra la determinará la duración del proyecto.

Ya que la duración que nos entrega el programa para entregar las primeras 20 unidades es de 5 días, dejando todas las actividades con duración de 1 día podemos acercarnos bastante a los supuestos que realizamos. Por esto, dejaremos la duración de las actividades fija en 1 día y asignaremos los recursos que sean necesarios para terminarlas en ese plazo.

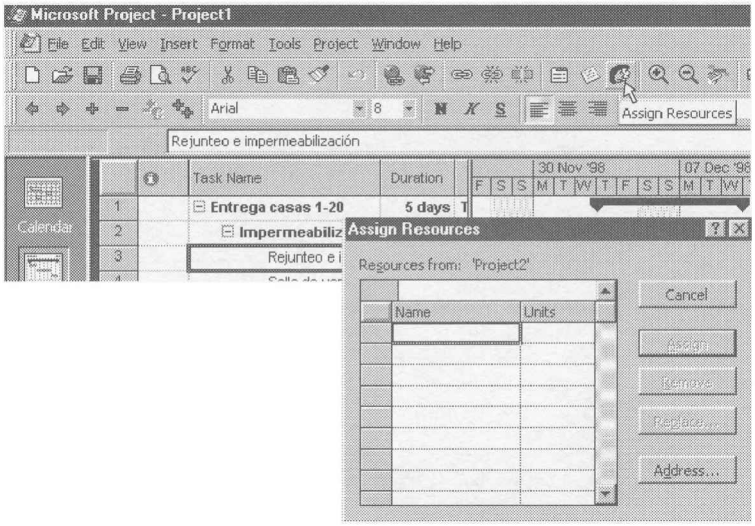
Para determinar que cantidad de recursos se debe asignar a cada actividad, es necesario saber el rendimiento de la mano de obra para cada actividad. Como ejemplo entregamos una lista de recursos, con sus rendimientos para cada actividad (Tabla 10.1).

Tabla 10.1 Lista de recursos.

Recurso	Rendimiento	Recurso	Rendimiento
Albañil	10 casas/día	SC gasfitería	20 casas/día
Carpintero	10 casas/día	SC impermeab.	20 casas/día
Ceramista	10 casas/día	SC jardines	20 casas/día
Jornal	5 casas/día	SC prueba de agua	20 casas/día
Pintor	4 casas/día	Supervisor	20 casas/día
Rematador	10 casas/día		

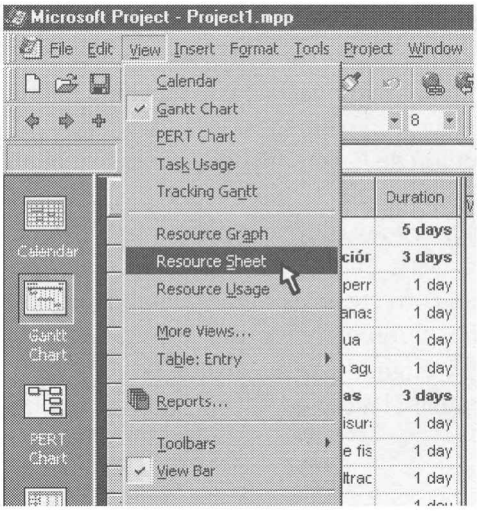
Para comenzar a asignar recursos, seleccionamos el botón *asignar recursos (assign resources)*. Con esto se desplegará un cuadro que permitirá ir creando cada recurso y asignarlo a cualquier actividad de inmediato. Para asignarlo uno debe escribir el nombre del recurso y luego, estando este seleccionado, arrastrarlo a la actividad en que se quiere incluir. Otra manera sería una vez creado el recurso, seleccionar la actividad en que se va a asignar y confirmar el proceso con el botón *Assign* del cuadro de recursos.

Es muy importante tener en cuenta que dada la manera en que decidimos asignar los recursos, se debe indicar la cantidad de éstos para cada actividad antes de asignarlos, porque sino, por defecto el programa asignará una unidad (100%). El problema con esto es que una vez asignado el recurso, si uno varía la cantidad de éste dentro de la actividad, varía la duración de la actividad, de acuerdo a la nueva cantidad de recursos para la actividad. Por ejemplo, si tengo una actividad que dura 10 días y le hemos asignado por equivocación sólo 1 jornal y debían ser 2, en el momento que cambiemos la cantidad de jornales a 2 (200%) la duración de la actividad cambiará a 5 días de duración. La manera correcta de cambiar la cantidad de cierto recurso asignado a una actividad, sin variar la duración de esta (porque en este caso ya está fija), es retirar el recurso y luego asignarlo de nuevo con la cantidad adecuada. Para retirarlo sólo se requiere seleccionar el recurso y en el cuadro de diálogo de recursos seleccionar la opción *Remove.*



Otro punto que podemos verificar es la cantidad de cada recurso que será necesaria para desarrollar el programa tal como está.

Para esto es necesario seleccionar *la Hoja de Recursos (Resource Sheet)*. En esta presentación se ven todos los recursos que hemos creado y se puede modificar cualquier tipo de información sobre ellos. La cantidad de información que figura por cada recurso es mucho más detallada que la que figura en el cuadro de diálogo de asignación de recursos.



Para verificar la asignación de recursos en este proyecto nos preocuparemos de la columna *Max. Units*. Aquí, fácilmente, podemos verificar cuando un recurso está sobre asignado (ver figura 10.4). Esto quiere decir que con la cantidad de recursos que hay disponible, no es posible llevar a cabo el programa (está restringido por recursos). Si nos fijamos en esta columna, podemos apreciar que de cada recurso sólo hay una unidad disponible (100%). Esto es porque de la manera que creamos los recursos, se asigna este valor por defecto. Además podemos darnos cuenta que hay recursos que están en un color más claro (rojo en la pantalla). Estos recursos son los que estarían sobreasignados.

ID		Resource Name	Initials	Group	Max. Units	Std. Rate	Ovt. Rate	Cost/Use	Accrue At	Base C
1		Albañil	A	xxx	100	$ 0,00/hr	$ 0,00/hr	$ 0,0	Prorated	Standa
2		Carpintero	CA	xxx	100	$ 0,00/hr	$ 0,00/hr	$ 0,0	Prorated	Standa
3		Ceramista	CE	xxx	100	$ 0,00/hr	$ 0,00/hr	$ 0,0	Prorated	Standa
4		Jornal	J	xxx	100	$ 0,00/hr	$ 0,00/hr	$ 0,0	Prorated	Standa
5		Pintor	P	xxx	100	$ 0,00/hr	$ 0,00/hr	$ 0,0	Prorated	Standa
6		Rematador	R	xxx	100	$ 0,00/hr	$ 0,00/hr	$ 0,0	Prorated	Standa
7		SC gasfitería	SC G		100	$ 0,00/hr	$ 0,00/hr	$ 0,0	Prorated	Standa
8		Impermeab.	SCI	XXX	100	$ 0,00/hr	$ 0,00/hr	$ 0,0	Prorated	Standa
9		SC jardines	SC J	XX	100	$ 0,00/hr	$ 0,00/hr	$ 0,0	Prorated	Standa
10		SC prueba de agua	SC PA	xxx	100	$ 0,00/hr	$ 0,00/hr	$ 0,0	Prorated	Standa
11		Supervisor	S	xx	100	$ 0,00/hr	$ 0,00/hr	$ 0,0	Prorated	Standa

Figura 10. 4

Para saber cual es la mínima cantidad de cada recurso que será necesario disponer para no tener interferencia de recursos en el desarrollo del proyecto, hay que ponerse en la celda correspondiente a la cantidad de recurso disponible (*Max. Units*) y aumentar gradualmente la cantidad de este hasta que deje de ser de color más claro o rojo en la pantalla[2].

ID		Resource Name	Initials	Group	Max. Units	Std. Rate	Ovt. Rate	Cost/Use	Accrue At	Base C
1		Albañil	A	xxx	200	$ 0,00/hr	$ 0,00/hr	$ 0,0	Prorated	Standa
2		Carpintero	CA	xxx	200	$ 0,00/hr	$ 0,00/hr	$ 0,0	Prorated	Standa
3		Ceramista	CE	xxx	200	$ 0,00/hr	$ 0,00/hr	$ 0,0	Prorated	Standa
4		Jornal	J	xxx	400	$ 0,00/hr	$ 0,00/hr	$ 0,0	Prorated	Standa
5		Pintor	P	xxx	500	$ 0,00/hr	$ 0,00/hr	$ 0,0	Prorated	Standa
6		Rematador	R	xxx	200	$ 0,00/hr	$ 0,00/hr	$ 0,0	Prorated	Standa
7		SC gasfitería	SC G		100	$ 0,00/hr	$ 0,00/hr	$ 0,0	Prorated	Standa
8		Impermeab.	SCI	XXX	200	$ 0,00/hr	$ 0,00/hr	$ 0,0	Prorated	Standa
9		SC jardines	SC J	XX	100	$ 0,00/hr	$ 0,00/hr	$ 0,0	Prorated	Standa
10		SC prueba de agua	SC PA	xxx	100	$ 0,00/hr	$ 0,00/hr	$ 0,0	Prorated	Standa
11		Supervisor	S	xx	200	$ 0,00/hr	$ 0,00/hr	$ 0,0	Prorated	Standa

Figura 10. 5

[2] Cada vez que aumentemos la cantidad de recurso es necesario cambiarse a cualquier otra celda para que se haga efectivo el cambio realizado.

Cuando hayamos terminado de asignar los recursos y determinar la cantidad necesaria de éstos, tendremos listo nuestro cuerpo para el programa general. Mientras más tiempo dediquemos a la confección del cuerpo (o subproyecto), éste será de mejor calidad, y por ende nuestro programa general, también quedará más perfecto.

10.7 Programa general de entrega

Cuando tenemos armado totalmente el «cuerpo» de nuestro programa, sólo queda copiar esta unidad las veces que sea necesario para terminar la totalidad del programa. Cuando copiemos este cuerpo, habrá que modificarle el nombre a los diferentes subproyectos (entrega casa 21-40, entrega casa 41-60, etc.).

El siguiente paso es relacionar los diferentes subproyectos para que el proyecto, como un todo, tenga sentido. Si no se relacionaran sería como realizar *n* proyectos (tantos como subproyectos) y en ese caso la cantidad de mano de obra que se necesitaría para poder desarrollar el programa sería de *n* veces más que la que se necesitaba para un subproyecto.

Con estos pocos pasos tendremos casi listo nuestro programa, para la entrega de las primeras 208 casas.

En el caso de este proyecto hay que tener eso si un cuidado. Si revisamos las características de las actividades que componen el programa, tenemos que recordar que hay una restricción que es importante cumplir: que la prueba de agua debe hacerse al cuarto día después de ejecutado el rejunteo e impermeabilización.

Como la fecha de término del proyecto está dentro del plazo que se había solicitado, no habría necesidad de modificar nuestro programa. Si la fecha su hubiera sobrepasado, lo más fácil es modificarlo desde el programa que utilizamos como cuerpo para el programa general

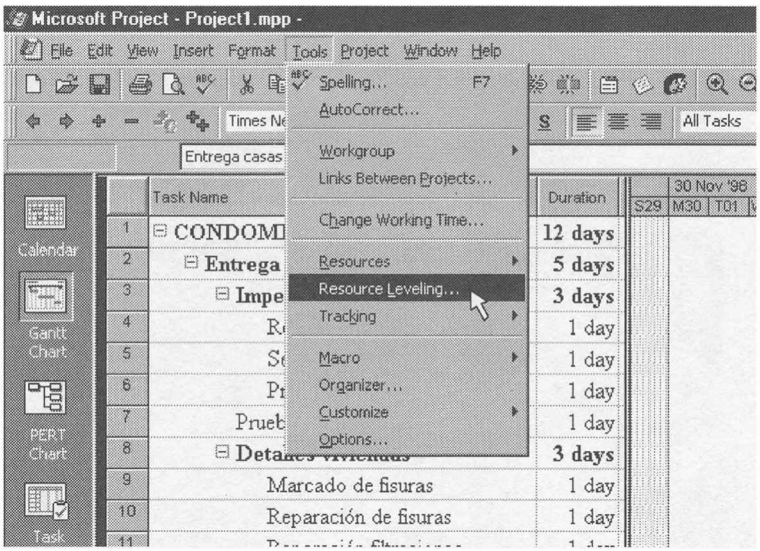
El programa completo, la hoja de recursos y un programa con los recursos incorporados lo podemos ver en los Anexos N° 1, N° 2 y N° 3.

10.8 Nivelación de recursos

Después de haber terminado el programa general, y según lo mostrado en el Anexo N° 2, podemos darnos cuenta de que nuevamente hay recursos que están sobreasignados. Esto se produce por la superposición en el tiempo de los subproyectos. Podríamos manejar este problema solo de la manera que lo hicimos destinando mayor cantidad de recursos al primer subproyecto, pero ocuparemos además otro concepto que se estudió durante el curso de planificación y control de proyectos: la nivelación

de recursos. Como se vio en el capítulo correspondiente a esa materia, no existe una única manera de realizar una nivelación de recursos, sino que existen distintos algoritmos para lograr este objetivo.

El Microsoft Project™, tiene una muy poderosa herramienta para la nivelación de recursos. Por un lado es sumamente simple, pero a la vez se puede realizar con mucha mayor facilidad al darle otros atributos a las actividades cuando así se requiera. Dentro del menú *Tools* basta seleccionar el comando que se llama *Resource Leveling*, y el programa realizará una nivelación de manera automática. Si existiera algún conflicto por otras exigencias que se le hayan incorporado al proyecto, el programa avisará con que recursos tiene problemas para realizar la nivelación.

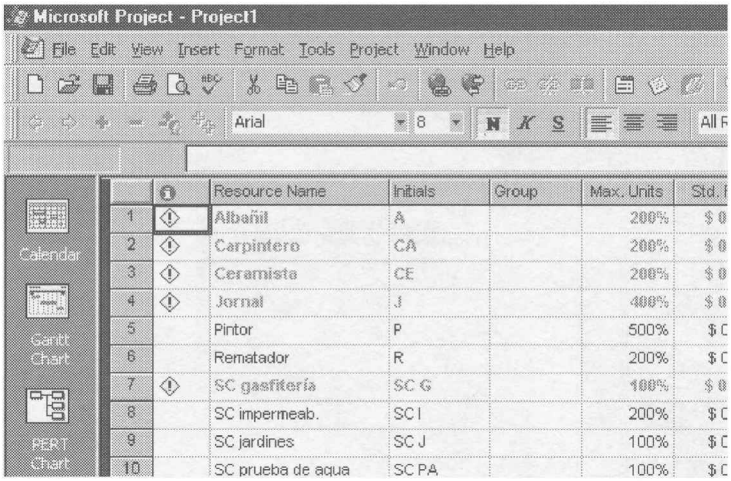


Una vez realizada la nivelación deberemos revisar si es que existe aun algún recurso que esté sobreasignado. En caso de existir alguno que esté todavía en esa condición, se deberá utilizar otra manera de solucionar el problema. Lo más fácil sería proveer de más unidades de ese recurso, y el otro modo sería un reestudio del programa para disminuir los requerimientos de ese recurso.

En el caso de este programa, después de realizar la nivelación se obtuvo un programa modificado con el día viernes 8 de enero como fecha de término (Anexo Nº 4). Como ya habíamos visto, esta fecha de término estaría fuera del plazo propuesto. Para solucionar este problema desde el punto de vista de los recursos podemos hacer lo mismo que se señaló para el caso en que aun exista un recurso sobreasignado.

Debemos recordar que para este momento dejamos también la posibilidad de realizar un cambio en el calendario de trabajo del subcontrato de impermeabilización y el de la prueba de agua. Este cambio podría llegar a servir, pero como el atraso ha sido tanto, realizaremos el cambio de calendario para el proyecto entero (Calendario Standard).

Cambiando el calendario la duración del proyecto cambia sólo hasta el día 6 de enero (Anexo Nº 5), pero nos damos cuenta que en la hoja de recursos, hay recursos que aparecen en rojo. Esto es porque una vez que se ha realizado una nivelación, todos los recursos entran en una categoría en que es necesario programarlos día a día. Por lo tanto el que estén rojos indicaría que están siendo subutilizados. Para resolver esto sólo basta volver a nivelar los recursos para obtener la fecha de término del programa sin problema en el manejo de recursos.



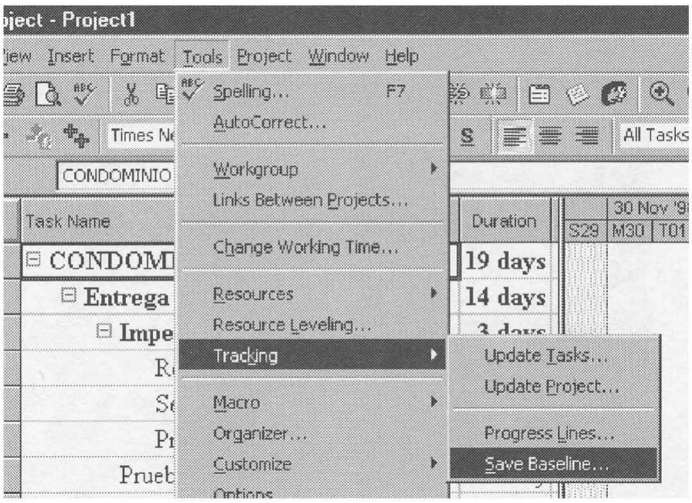
		Resource Name	Initials	Group	Max. Units	Std.
1		Albañil	A		200%	$ 0
2		Carpintero	CA		200%	$ 0
3		Ceramista	CE		200%	$ 0
4		Jornal	J		400%	$ 0
5		Pintor	P		500%	$ 0
6		Rematador	R		200%	$ 0
7		SC gasfitería	SC G		100%	$ 0
8		SC impermeab.	SC I		200%	$ 0
9		SC jardines	SC J		100%	$ 0
10		SC prueba de agua	SC PA		100%	$ 0

Con la nueva nivelación de recursos que se realizó, se llegó a la fecha 2 de enero. Con esto estaríamos cumpliendo con el plazo propuesto.

Si es que todavía con estos cambios no se hubiese llegado a una fecha de término dentro del plazo propuesto, deberemos realizar un reestudio del programa general.

Terminado nuestro programa con nivelación de recursos y una fecha de término factible, podemos guardarlo con línea de base (baseline). Esto equivale a transformarlo en nuestro programa maestro. Cualquier modificación que se le haga quedará reflejada gráficamente. Con este tipo de programas se puede realizar un control del proyecto, según se vayan desarrollando sus avances.

Si es que al presionar el botón de grabar no apareciera el mensaje de opción de grabado (con o sin línea de base) se puede guardar utilizando el menú *Tools* y dentro de éste en *Tracking* la opción *Save Baseline*



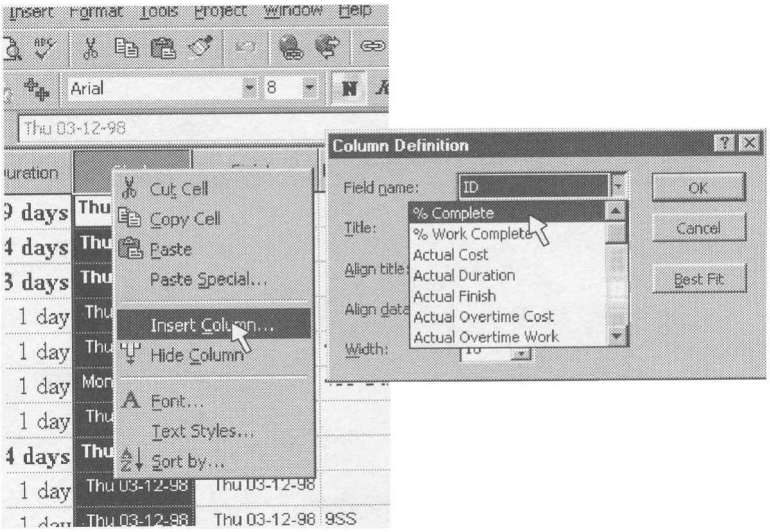
10.9 Avances del programa y control

Una tarea fundamental al tener un programa de trabajo para un proyecto, es realizar un control de éste para saber si se ha ido cumpliendo. Para poder realizar control de un programa, es necesario actualizarlo, colocando todos los avances que han ocurrido hasta la fecha de control para cada actividad.

El Microsoft Project™ tiene un buen sistema de control para los programas realizados en él. Se puede controlar avance, mano de obra, toda la parte relacionadas con costos asociados y otros puntos más. Nosotros en el ejemplo de aplicación nos preocuparemos por aprender algo sobre el control de avance.

Lo primero es tener guardado el programa con línea base. Para computar el avance de cada actividad es necesario agregar una columna de información. Algo muy interesante en fijarse es el detalle de que cuando ya pasó la fecha de termino de una actividad crítica, esta deja de serlo (se pone azul), porque se supone que ya se ejecutó.

Se selecciona una columna del lado izquierdo de la vista de carta Gantt, y presionando el botón derecho del mouse, se selecciona la opción *Insert Column* y dentro de la ventana que se abre se elige *% Complete.* En esta columna se irá actualizando el avance para cada actividad del programa.



En nuestro caso se decidió hacer un control de avance al final del día 12 de diciembre. La manera en que se tomó el estado de avance fue de determinar la cantidad de casas que se había avanzado en cada una de las 14 actividades. Este avance se señala en la Tabla 10.2.

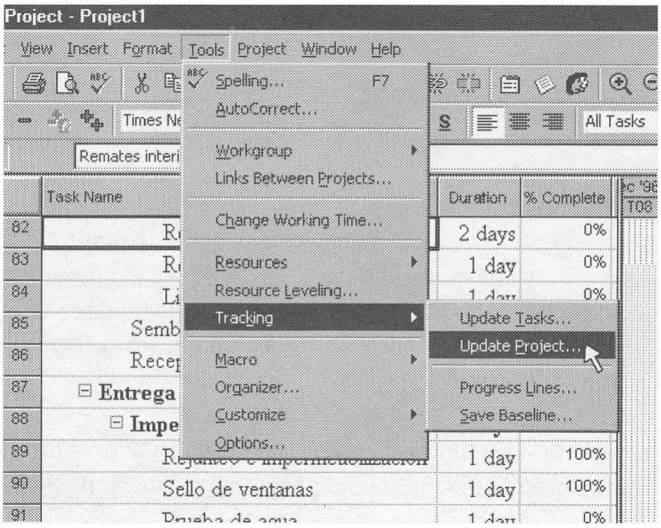
Tabla 10.2

Actividad	Avance (casas)		Actividad	Avance (casas)	
	Presup.	Real		Presup.	Real
Rejunteo e impermeabilización	158	100	Pintura	118	80
Sello de ventanas	158	118	Confección listado de detalles	138	100
Prueba de agua	80	80	Remates interiores	0	40
Prueba instalación agua potable	158	100	Remates exteriores	118	60
Marcado de fisuras	138	120	Limpieza final	20	40
Reparación de fisuras	138	90	Sembrado pasto	60	30
Reparación filtraciones	0	30	Recepción de casas	0	30

Para colocar los avances en las actividades, basta recordar que cada subproyecto comprende 20 casas, por lo que hay que actualizar la actividad en tantos subproyectos como sea necesario. Una vez terminada la incorporación de los avances de todas las actividades que se han desarrollado en el proyecto, se tiene que realizar una actualización del proyecto.

En el menú *Tools* y dentro de la opción *Tracking*, tenemos que seleccionar el comando *Update Project*. Con esto queda registrado el avance de cada actividad y se calcu-

la su influencia para el desarrollo del proyecto. El resultado que arroja para el caso de ejemplo es que todavía estamos dentro del programa (no se ha atrasado la fecha de término).



El Microsoft Project™, tiene además una vista especial para el seguimiento de proyectos. Esta vista es la *Tracking Gantt.* En este modo se visualizan la línea base (proyecto maestro), el avance de cada actividad y de los grupos de actividades que se hallan definido, y el trabajo restante según programa (ver Anexo 6). Si uno lleva un control día a día, se pueden ir verificando más precisamente que actividades llevan algún tipo de atraso según programa, cual es el porcentaje de avance de diferentes partes del proyecto, que actividades por su atraso se pueden haber convertido en actividades críticas, etc.

Es muy importante por todo lo que se ha señalado, lograr con el tiempo un dominio de toda la información de utilidad que se puede sacar de un software de planificación, sobre todo a la hora de tomar decisiones en el momento en que es necesario tomar medidas para corregir el desarrollo de un proyecto.

10.10 Reprogramación y utilización de software de planificación

La reprogramación se utiliza para lograr corregir un programa cuando se ha alejado de lo que está ocurriendo en el proyecto. Cuando esto ocurre el programa pierde toda validez y no coopera en nada a la ejecución del proyecto, pudiendo incluso interferir al verse como un plan utópico. Al tener un programa que representa lo que está ocurriendo efectivamente en terreno, nos permitirá tomar las decisiones correctas en el momento oportuno.

Estas decisiones van desde saber cuáles son mis actividades críticas, saber si han cambiado o se han agregado otras, dónde están los puntos débiles en la ejecución del proyecto, cuáles se han convertido en los recursos más críticos, qué actividades están atrasadas, cuál es la fecha de término más probable del proyecto, y una infinidad de información útil para el mejor desarrollo del proyecto y la toma de decisiones en éste.

Cuando un proyecto se ha atrasado respecto del programa, y ya está muy diferente de cómo se planificó, es necesario reprogramar.

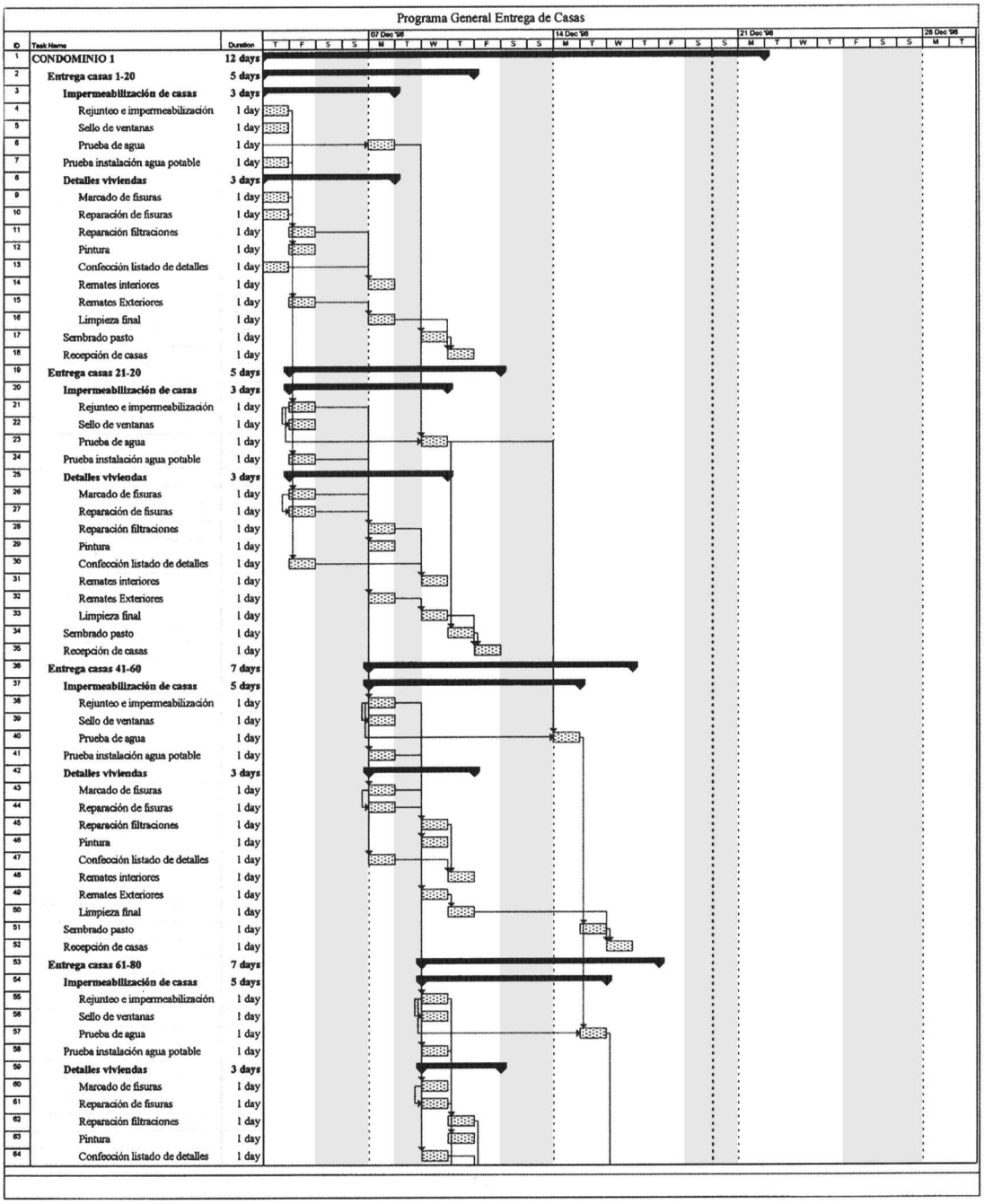
La medida que generalmente se toma en momentos de crisis (atrasos severos), es incrementar drásticamente la cantidad de mano de obra disponible. Esta manera de proceder puede ser a veces bastante efectiva, pero si no va acompañada de una reprogramación puede convertirse en una decisión más errada que acertada. El aumentar la cantidad de personal drásticamente, sin tener un control efectivo sobre éste, no beneficiaría en nada al proyecto.

Otra medida inteligente sería tomarse el tiempo necesario para determinar cuáles son los problemas en la correcta ejecución del programa y buscar posibles soluciones.

Aprovechar las herramientas que nos brindan los software de planificación, nos permitirá tener un mayor tiempo libre para poder dedicarlo al control, parte fundamental para el correcto desarrollo de un proyecto. Sin control la planificación pierde todo su sentido.

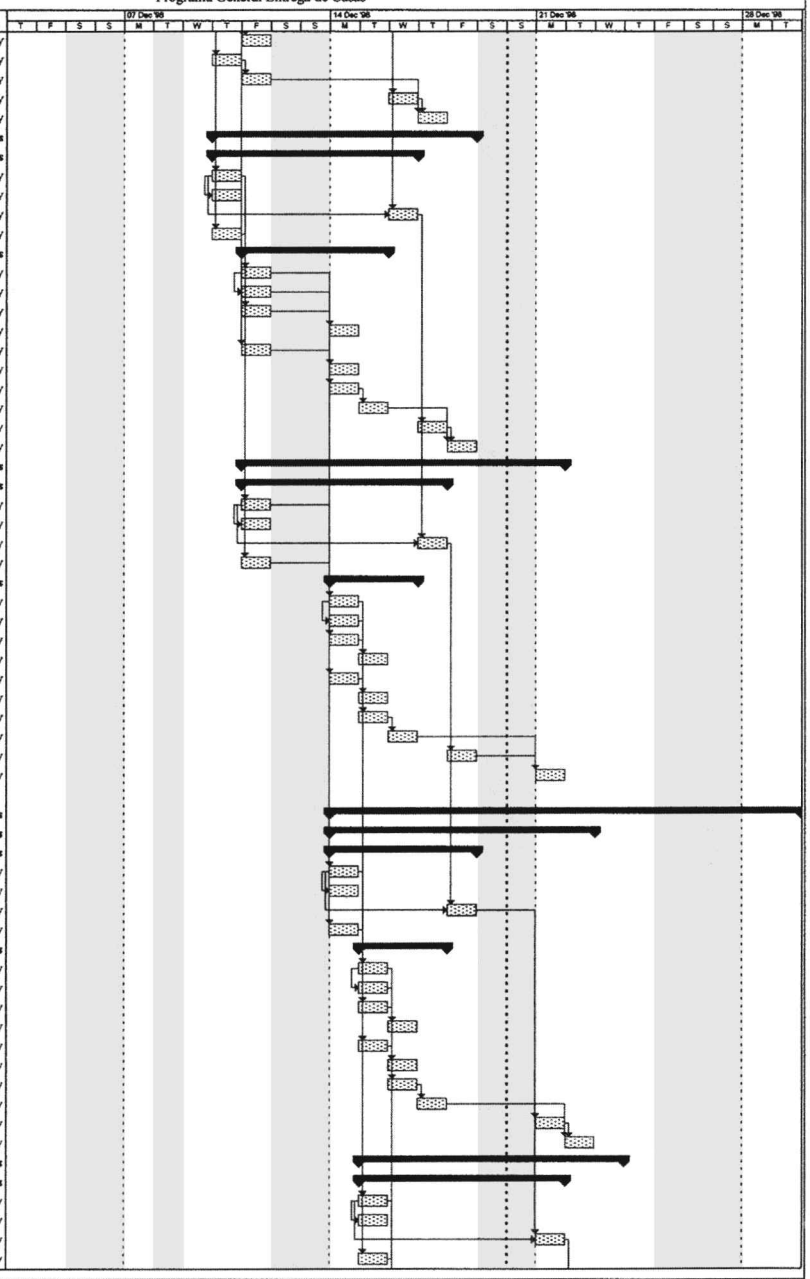
ANEXO 1

PROGRAMA GENERAL DE ENTREGA DE CASAS


Programa General Entrega de Casas
ID
Task Name
Duration
07 Dec '98
14 Dec '98
21 Dec '98
28 Dec '98
1 CONDOMINIO 1 12 days
2 Entrega casas 1-20 5 days
3 Impermeabilización de casas 3 days
4 Rejunteo e impermeabilización 1 day
5 Sello de ventanas 1 day
6 Prueba de agua 1 day
7 Prueba instalación agua potable 1 day
8 Detalles viviendas 3 days
9 Marcado de fisuras 1 day
10 Reparación de fisuras 1 day
11 Reparación filtraciones 1 day
12 Pintura 1 day
13 Confección listado de detalles 1 day
14 Remates interiores 1 day
15 Remates Exteriores 1 day
16 Limpieza final 1 day
17 Sembrado pasto 1 day
18 Recepción de casas 1 day
19 Entrega casas 21-20 5 days
20 Impermeabilización de casas 3 days
21 Rejunteo e impermeabilización 1 day
22 Sello de ventanas 1 day
23 Prueba de agua 1 day
24 Prueba instalación agua potable 1 day
25 Detalles viviendas 3 days
26 Marcado de fisuras 1 day
27 Reparación de fisuras 1 day
28 Reparación filtraciones 1 day
29 Pintura 1 day
30 Confección listado de detalles 1 day
31 Remates interiores 1 day
32 Remates Exteriores 1 day
33 Limpieza final 1 day
34 Sembrado pasto 1 day
35 Recepción de casas 1 day
36 Entrega casas 41-60 7 days
37 Impermeabilización de casas 5 days
38 Rejunteo e impermeabilización 1 day
39 Sello de ventanas 1 day
40 Prueba de agua 1 day
41 Prueba instalación agua potable 1 day
42 Detalles viviendas 3 days
43 Marcado de fisuras 1 day
44 Reparación de fisuras 1 day
45 Reparación filtraciones 1 day
46 Pintura 1 day
47 Confección listado de detalles 1 day
48 Remates interiores 1 day
49 Remates Exteriores 1 day
50 Limpieza final 1 day
51 Sembrado pasto 1 day
52 Recepción de casas 1 day
53 Entrega casas 61-80 7 days
54 Impermeabilización de casas 5 days
55 Rejunteo e impermeabilización 1 day
56 Sello de ventanas 1 day
57 Prueba de agua 1 day
58 Prueba instalación agua potable 1 day
59 Detalles viviendas 3 days
60 Marcado de fisuras 1 day
61 Reparación de fisuras 1 day
62 Reparación filtraciones 1 day
63 Pintura 1 day
64 Confección listado de detalles 1 day

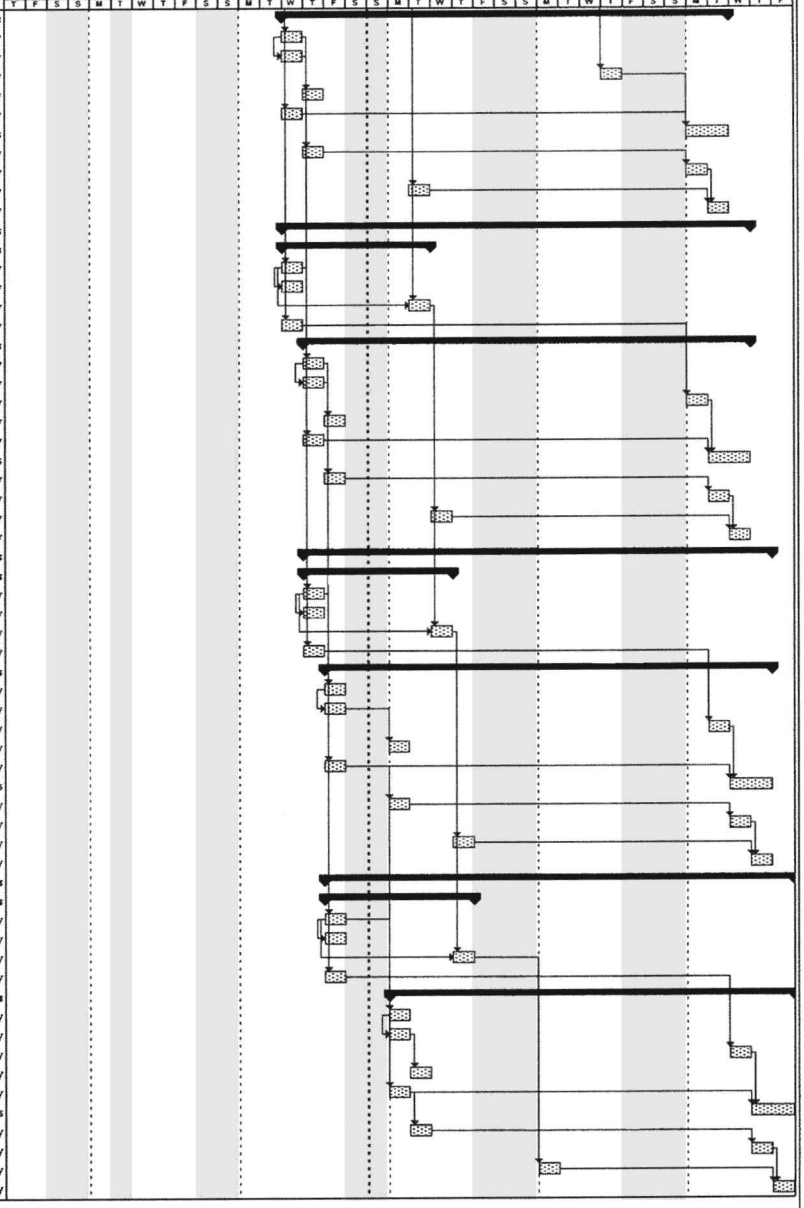
Programa General Entrega de Casas

ID	Task Name	Duration
65	Remates interiores	1 day
66	Remates Exteriores	1 day
67	Limpieza final	1 day
68	Sembrado pasto	1 day
69	Recepción de casas	1 day
70	**Entrega casas 81-100**	**7 days**
71	**Impermeabilización de casas**	**5 days**
72	Rejunteo e impermeabilización	1 day
73	Sello de ventanas	1 day
74	Prueba de agua	1 day
75	Prueba instalación agua potable	1 day
76	**Detalles viviendas**	**3 days**
77	Marcado de fisuras	1 day
78	Reparación de fisuras	1 day
79	Reparación filtraciones	1 day
80	Pintura	1 day
81	Confección listado de detalles	1 day
82	Remates interiores	1 day
83	Remates Exteriores	1 day
84	Limpieza final	1 day
85	Sembrado pasto	1 day
86	Recepción de casas	1 day
87	**Entrega casas 101-118**	**7 days**
88	**Impermeabilización de casas**	**5 days**
89	Rejunteo e impermeabilización	1 day
90	Sello de ventanas	1 day
91	Prueba de agua	1 day
92	Prueba instalación agua potable	1 day
93	**Detalles viviendas**	**3 days**
94	Marcado de fisuras	1 day
95	Reparación de fisuras	1 day
96	Reparación filtraciones	1 day
97	Pintura	1 day
98	Confección listado de detalles	1 day
99	Remates interiores	1 day
100	Remates Exteriores	1 day
101	Limpieza final	1 day
102	Sembrado pasto	1 day
103	Recepción de casas	1 day
104		
105	**CONDOMINIO 2**	**11 days**
106	**Entrega casas 1-20**	**7 days**
107	**Impermeabilización de casas**	**5 days**
108	Rejunteo e impermeabilización	1 day
109	Sello de ventanas	1 day
110	Prueba de agua	1 day
111	Prueba instalación agua potable	1 day
112	**Detalles viviendas**	**3 days**
113	Marcado de fisuras	1 day
114	Reparación de fisuras	1 day
115	Reparación filtraciones	1 day
116	Pintura	1 day
117	Confección listado de detalles	1 day
118	Remates interiores	1 day
119	Remates Exteriores	1 day
120	Limpieza final	1 day
121	Sembrado pasto	1 day
122	Recepción de casas	1 day
123	**Entrega casas 21-20**	**7 days**
124	**Impermeabilización de casas**	**5 days**
125	Rejunteo e impermeabilización	1 day
126	Sello de ventanas	1 day
127	Prueba de agua	1 day
128	Prueba instalación agua potable	1 day



Programa General Entrega de Casas

ID	Task Name	Duration
129	**Detalles viviendas**	**13 days**
130	Marcado de fisuras	1 day
131	Reparación de fisuras	1 day
132	Reparación filtraciones	1 day
133	Pintura	1 day
134	Confección listado de detalles	1 day
135	Remates interiores	2 days
136	Remates Exteriores	1 day
137	Limpieza final	1 day
138	Sembrado pasto	1 day
139	Recepción de casas	1 day
140	**Entrega casas 41-60**	**14 days**
141	**Impermeabilización de casas**	**5 days**
142	Rejunteo e impermeabilización	1 day
143	Sello de ventanas	1 day
144	Prueba de agua	1 day
145	Prueba instalación agua potable	1 day
146	**Detalles viviendas**	**13 days**
147	Marcado de fisuras	1 day
148	Reparación de fisuras	1 day
149	Reparación filtraciones	1 day
150	Pintura	1 day
151	Confección listado de detalles	1 day
152	Remates interiores	2 days
153	Remates Exteriores	1 day
154	Limpieza final	1 day
155	Sembrado pasto	1 day
156	Recepción de casas	1 day
157	**Entrega casas 61-80**	**14 days**
158	**Impermeabilización de casas**	**5 days**
159	Rejunteo e impermeabilización	1 day
160	Sello de ventanas	1 day
161	Prueba de agua	1 day
162	Prueba instalación agua potable	1 day
163	**Detalles viviendas**	**13 days**
164	Marcado de fisuras	1 day
165	Reparación de fisuras	1 day
166	Reparación filtraciones	1 day
167	Pintura	1 day
168	Confección listado de detalles	1 day
169	Remates interiores	2 days
170	Remates Exteriores	1 day
171	Limpieza final	1 day
172	Sembrado pasto	1 day
173	Recepción de casas	1 day
174	**Entrega casas 81-90**	**14 days**
175	**Impermeabilización de casas**	**5 days**
176	Rejunteo e impermeabilización	1 day
177	Sello de ventanas	1 day
178	Prueba de agua	1 day
179	Prueba instalación agua potable	1 day
180	**Detalles viviendas**	**13 days**
181	Marcado de fisuras	1 day
182	Reparación de fisuras	1 day
183	Reparación filtraciones	1 day
184	Pintura	1 day
185	Confección listado de detalles	1 day
186	Remates interiores	2 days
187	Remates Exteriores	1 day
188	Limpieza final	1 day
189	Sembrado pasto	1 day
190	Recepción de casas	1 day



ANEXO 2

HOJA DE RECURSOS

Recursos en Programa General Entrega de Casas

ID	❶	Resource Name	Initials	Group	Max. Units	Std. Rate	Ovt. Rate	Cost/Use
1	◇	**Albañil**	**A**		**200%**	**$ 0,00/hr**	**$ 0,00/hr**	**$ 0,00**
2		Carpintero	CA		200%	$ 0,00/hr	$ 0,00/hr	$ 0,00
3		Ceramista	CE		200%	$ 0,00/hr	$ 0,00/hr	$ 0,00
4	◇	**Jornal**	**J**		**400%**	**$ 0,00/hr**	**$ 0,00/hr**	**$ 0,00**
5		Pintor	P		500%	$ 0,00/hr	$ 0,00/hr	$ 0,00
6		Rematador	R		200%	$ 0,00/hr	$ 0,00/hr	$ 0,00
7	◇	**SC gasfitería**	**SC G**		**100%**	**$ 0,00/hr**	**$ 0,00/hr**	**$ 0,00**
8		SC impermeab.	SC I		200%	$ 0,00/hr	$ 0,00/hr	$ 0,00
9		SC jardines	SC J		100%	$ 0,00/hr	$ 0,00/hr	$ 0,00
10		SC prueba de agua	SC PA		100%	$ 0,00/hr	$ 0,00/hr	$ 0,00
11	◇	**Supervisor**	**S**		**200%**	**$ 0,00/hr**	**$ 0,00/hr**	**$ 0,00**

Recursos en Programa General Entrega de Casas

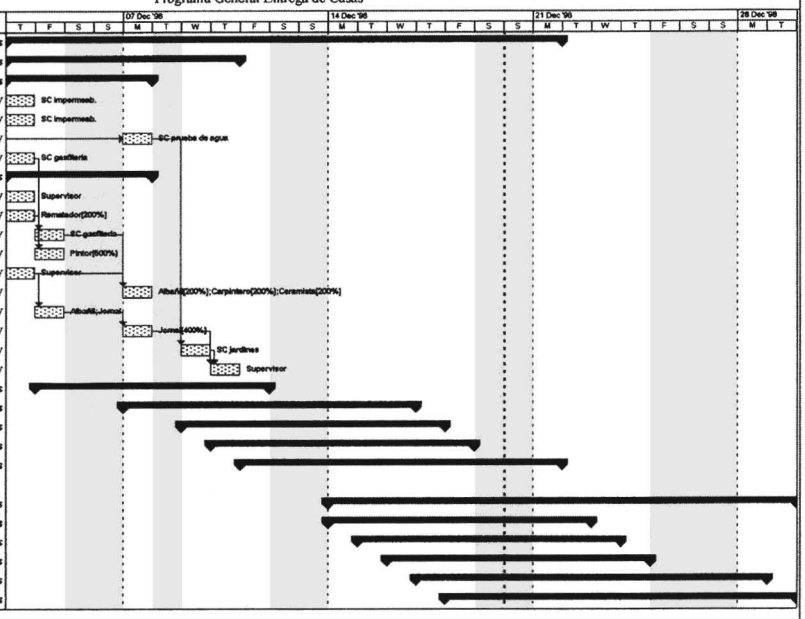
Accrue At	Base Calendar	Code
Prorated	**Standard**	
Prorated	Standard	
Prorated	Standard	
Prorated	**Standard**	
Prorated	Standard	
Prorated	Standard	
Prorated	**Standard**	
Prorated	Standard	
Prorated	Standard	
Prorated	Standard	
Prorated	**Standard**	

ANEXO 3

PROGRAMA GENERAL CON RECURSOS

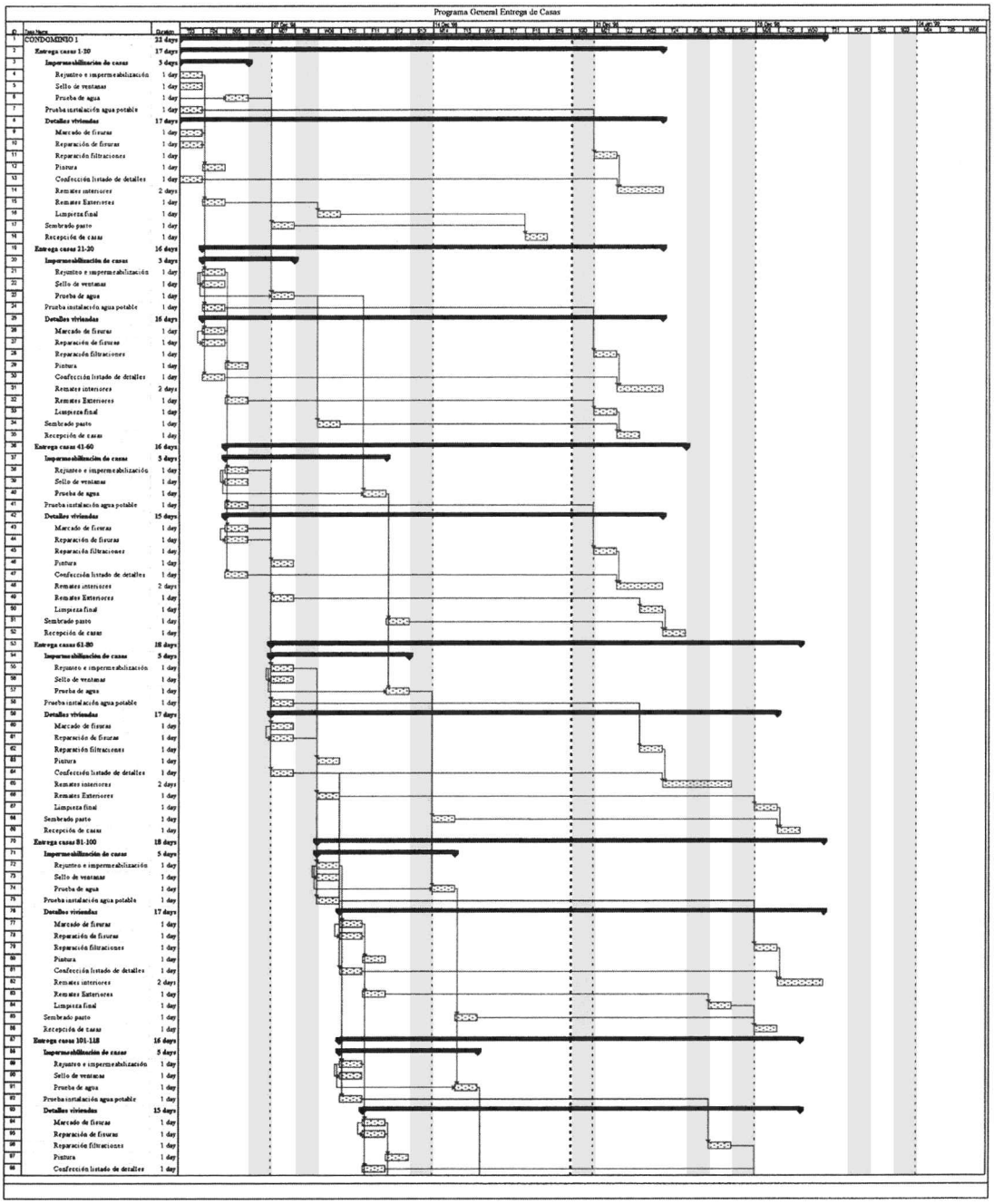
Programa General Entrega de Casas

ID	Task Name	Duration
1	CONDOMINIO 1	12 days
2	Entrega casas 1-20	5 days
3	Impermeabilización de casas	3 days
4	Rejunteo e impermeabilización	1 day
5	Sello de ventanas	1 day
6	Prueba de agua	1 day
7	Prueba instalación agua potable	1 day
8	Detalles viviendas	3 days
9	Marcado de fisuras	1 day
10	Reparación de fisuras	1 day
11	Reparación filtraciones	1 day
12	Pintura	1 day
13	Confección listado de detalles	1 day
14	Remates interiores	1 day
15	Remates Exteriores	1 day
16	Limpieza final	1 day
17	Sembrado pasto	1 day
18	Recepción de casas	1 day
19	Entrega casas 21-20	5 days
36	Entrega casas 41-60	7 days
53	Entrega casas 61-80	7 days
70	Entrega casas 81-100	7 days
87	Entrega casas 101-118	7 days
104		
105	CONDOMINIO 2	11 days
106	Entrega casas 1-20	7 days
123	Entrega casas 21-20	7 days
140	Entrega casas 41-60	7 days
157	Entrega casas 61-80	7 days
174	Entrega casas 81-90	7 days



ANEXO 4

PROGRAMA GENERAL CON NIVELACIÓN DE RECURSOS

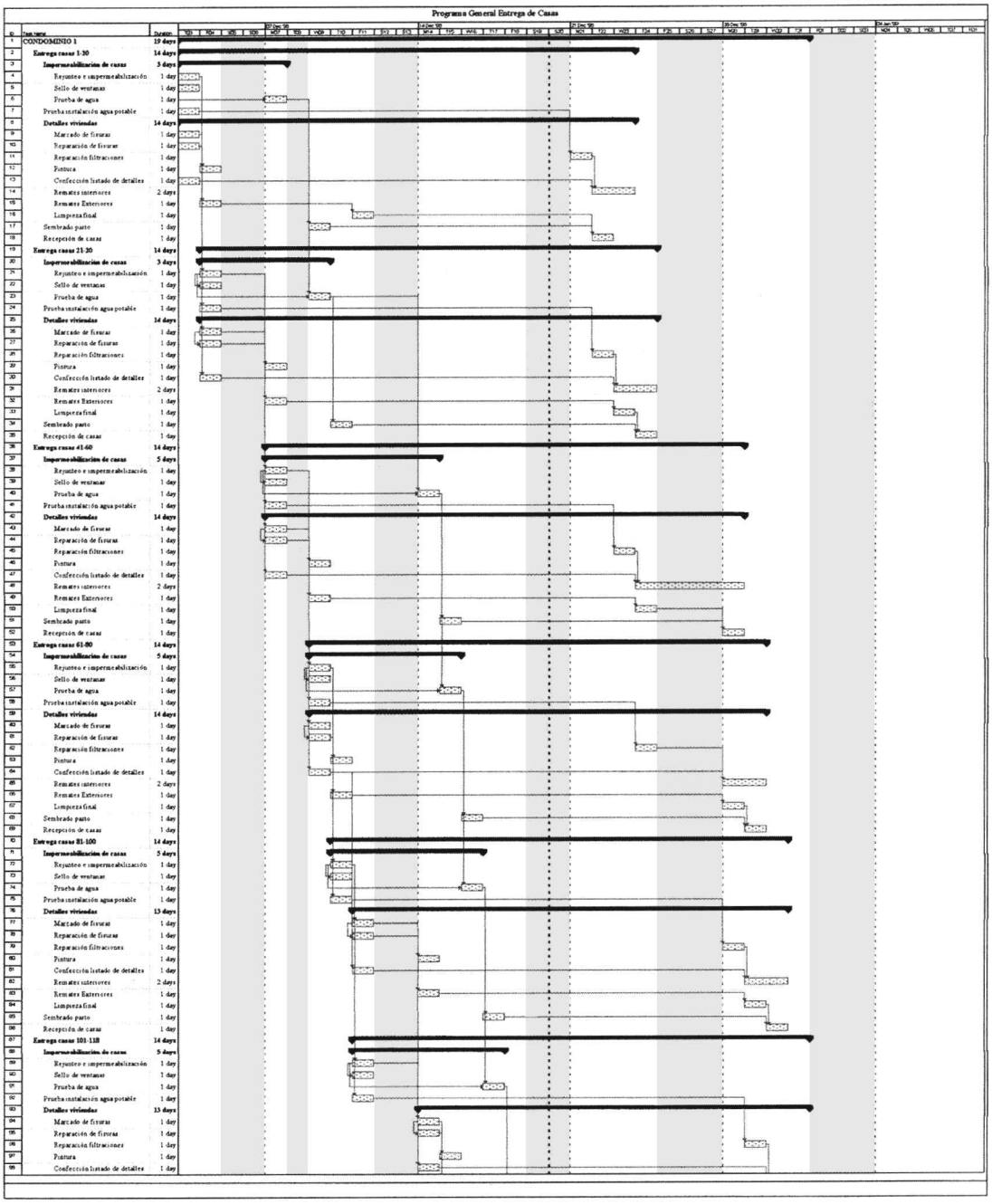

Programa General Entrega de Casas
ID
Task Name
Duration
1 CONDOMINIO 1 22 days
2 Entrega casas 1-20 17 days
3 Impermeabilización de casas 5 days
4 Rejunteo e impermeabilización 1 day
5 Sello de ventanas 1 day
6 Prueba de agua 1 day
7 Prueba instalación agua potable 1 day
8 Detalles viviendas 17 days
9 Marcado de fisuras 1 day
10 Reparación de fisuras 1 day
11 Reparación filtraciones 1 day
12 Pintura 1 day
13 Confección listado de detalles 1 day
14 Remates interiores 2 days
15 Remates Exteriores 1 day
16 Limpieza final 1 day
17 Sembrado pasto 1 day
18 Recepción de casas 1 day
19 Entrega casas 21-40 16 days
20 Impermeabilización de casas 3 days
21 Rejunteo e impermeabilización 1 day
22 Sello de ventanas 1 day
23 Prueba de agua 1 day
24 Prueba instalación agua potable 1 day
25 Detalles viviendas 16 days
26 Marcado de fisuras 1 day
27 Reparación de fisuras 1 day
28 Reparación filtraciones 1 day
29 Pintura 1 day
30 Confección listado de detalles 1 day
31 Remates interiores 2 days
32 Remates Exteriores 1 day
33 Limpieza final 1 day
34 Sembrado pasto 1 day
35 Recepción de casas 1 day
36 Entrega casas 41-60 16 days
37 Impermeabilización de casas 5 days
38 Rejunteo e impermeabilización 1 day
39 Sello de ventanas 1 day
40 Prueba de agua 1 day
41 Prueba instalación agua potable 1 day
42 Detalles viviendas 15 days
43 Marcado de fisuras 1 day
44 Reparación de fisuras 1 day
45 Reparación filtraciones 1 day
46 Pintura 1 day
47 Confección listado de detalles 1 day
48 Remates interiores 2 days
49 Remates Exteriores 1 day
50 Limpieza final 1 day
51 Sembrado pasto 1 day
52 Recepción de casas 1 day
53 Entrega casas 61-80 18 days
54 Impermeabilización de casas 5 days
55 Rejunteo e impermeabilización 1 day
56 Sello de ventanas 1 day
57 Prueba de agua 1 day
58 Prueba instalación agua potable 1 day
59 Detalles viviendas 17 days
60 Marcado de fisuras 1 day
61 Reparación de fisuras 1 day
62 Reparación filtraciones 1 day
63 Pintura 1 day
64 Confección listado de detalles 1 day
65 Remates interiores 2 days
66 Remates Exteriores 1 day
67 Limpieza final 1 day
68 Sembrado pasto 1 day
69 Recepción de casas 1 day
70 Entrega casas 81-100 18 days
71 Impermeabilización de casas 5 days
72 Rejunteo e impermeabilización 1 day
73 Sello de ventanas 1 day
74 Prueba de agua 1 day
75 Prueba instalación agua potable 1 day
76 Detalles viviendas 17 days
77 Marcado de fisuras 1 day
78 Reparación de fisuras 1 day
79 Reparación filtraciones 1 day
80 Pintura 1 day
81 Confección listado de detalles 1 day
82 Remates interiores 2 days
83 Remates Exteriores 1 day
84 Limpieza final 1 day
85 Sembrado pasto 1 day
86 Recepción de casas 1 day
87 Entrega casas 101-118 16 days
88 Impermeabilización de casas 5 days
89 Rejunteo e impermeabilización 1 day
90 Sello de ventanas 1 day
91 Prueba de agua 1 day
92 Prueba instalación agua potable 1 day
93 Detalles viviendas 15 days
94 Marcado de fisuras 1 day
95 Reparación de fisuras 1 day
96 Reparación filtraciones 1 day
97 Pintura 1 day
98 Confección listado de detalles 1 day

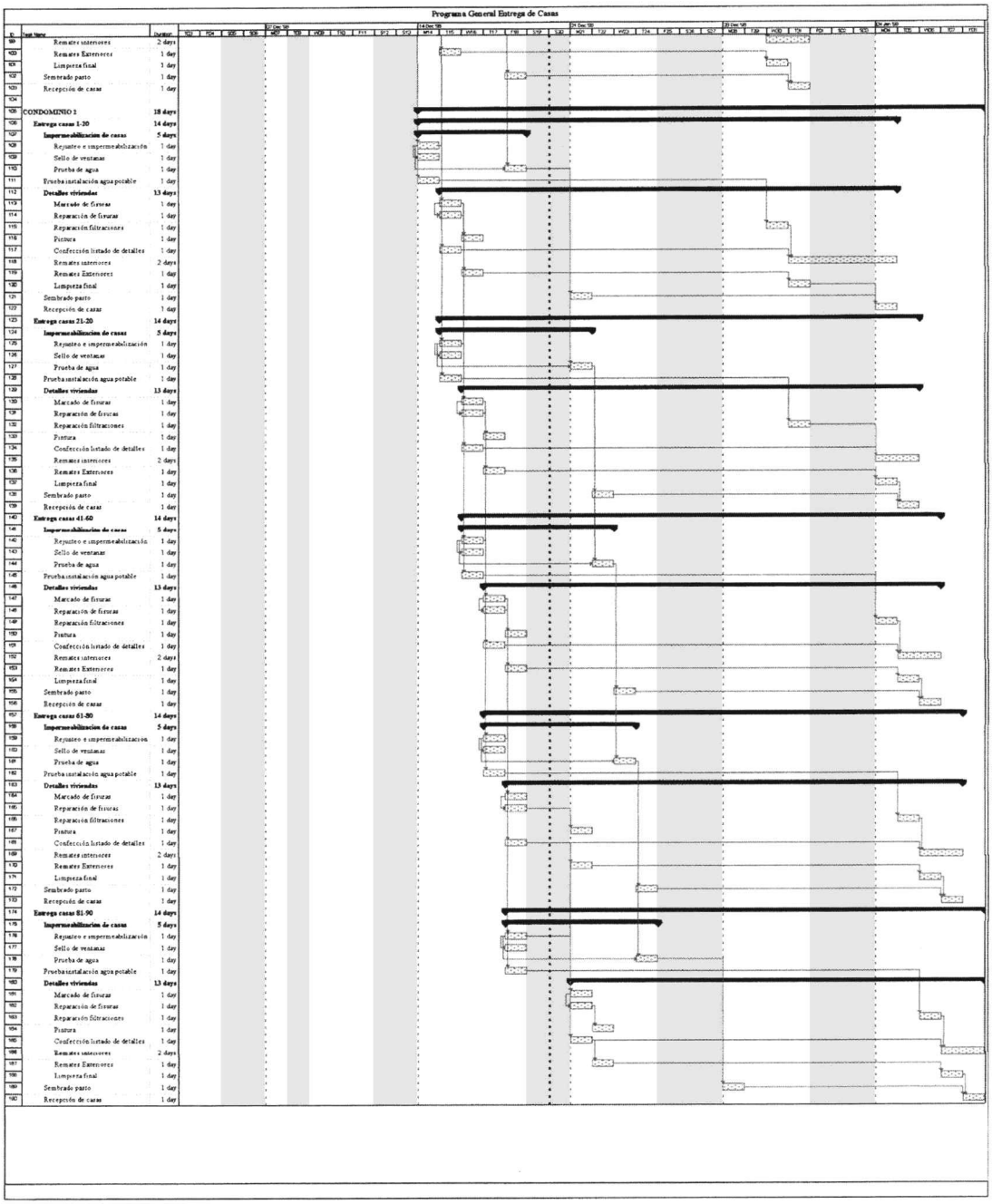
Programa General Entrega de Casas

ID	Tarea Nueva	Duración
99	Remates interiores	2 days
100	Remates Exteriores	1 day
101	Limpieza final	1 day
102	Sembrado pasto	1 day
103	Recepción de casas	1 day
104		
105	CONDOMINIO 2	21 days
106	Entrega casas 1-20	16 days
107	Impermeabilización de casas	5 days
108	Rejunteo e impermeabilización	1 day
109	Sello de ventanas	1 day
110	Prueba de agua	1 day
111	Prueba instalación agua potable	1 day
112	Detalles viviendas	15 days
113	Marcado de fisuras	1 day
114	Reparación de fisuras	1 day
115	Reparación filtraciones	1 day
116	Pintura	1 day
117	Confección listado de detalles	1 day
118	Remates interiores	2 days
119	Remates Exteriores	1 day
120	Limpieza final	1 day
121	Sembrado pasto	1 day
122	Recepción de casas	1 day
123	Entrega casas 21-30	18 days
124	Impermeabilización de casas	5 days
125	Rejunteo e impermeabilización	1 day
126	Sello de ventanas	1 day
127	Prueba de agua	1 day
128	Prueba instalación agua potable	1 day
129	Detalles viviendas	16 days
130	Marcado de fisuras	1 day
131	Reparación de fisuras	1 day
132	Reparación filtraciones	1 day
133	Pintura	1 day
134	Confección listado de detalles	1 day
135	Remates interiores	2 days
136	Remates Exteriores	1 day
137	Limpieza final	1 day
138	Sembrado pasto	1 day
139	Recepción de casas	1 day
140	Entrega casas 41-60	18 days
141	Impermeabilización de casas	5 days
142	Rejunteo e impermeabilización	1 day
143	Sello de ventanas	1 day
144	Prueba de agua	1 day
145	Prueba instalación agua potable	1 day
146	Detalles viviendas	17 days
147	Marcado de fisuras	1 day
148	Reparación de fisuras	1 day
149	Reparación filtraciones	1 day
150	Pintura	1 day
151	Confección listado de detalles	1 day
152	Remates interiores	2 days
153	Remates Exteriores	1 day
154	Limpieza final	1 day
155	Sembrado pasto	1 day
156	Recepción de casas	1 day
157	Entrega casas 61-80	18 days
158	Impermeabilización de casas	5 days
159	Rejunteo e impermeabilización	1 day
160	Sello de ventanas	1 day
161	Prueba de agua	1 day
162	Prueba instalación agua potable	1 day
163	Detalles viviendas	17 days
164	Marcado de fisuras	1 day
165	Reparación de fisuras	1 day
166	Reparación filtraciones	1 day
167	Pintura	1 day
168	Confección listado de detalles	1 day
169	Remates interiores	2 days
170	Remates Exteriores	1 day
171	Limpieza final	1 day
172	Sembrado pasto	1 day
173	Recepción de casas	1 day
174	Entrega casas 81-90	16 days
175	Impermeabilización de casas	5 days
176	Rejunteo e impermeabilización	1 day
177	Sello de ventanas	1 day
178	Prueba de agua	1 day
179	Prueba instalación agua potable	1 day
180	Detalles viviendas	15 days
181	Marcado de fisuras	1 day
182	Reparación de fisuras	1 day
183	Reparación filtraciones	1 day
184	Pintura	1 day
185	Confección listado de detalles	1 day
186	Remates interiores	2 days
187	Remates Exteriores	1 day
188	Limpieza final	1 day
189	Sembrado pasto	1 day
190	Recepción de casas	1 day

ANEXO 5

PROGRAMA GENERAL CON CAMBIO DE CALENDARIO DE TRABAJO

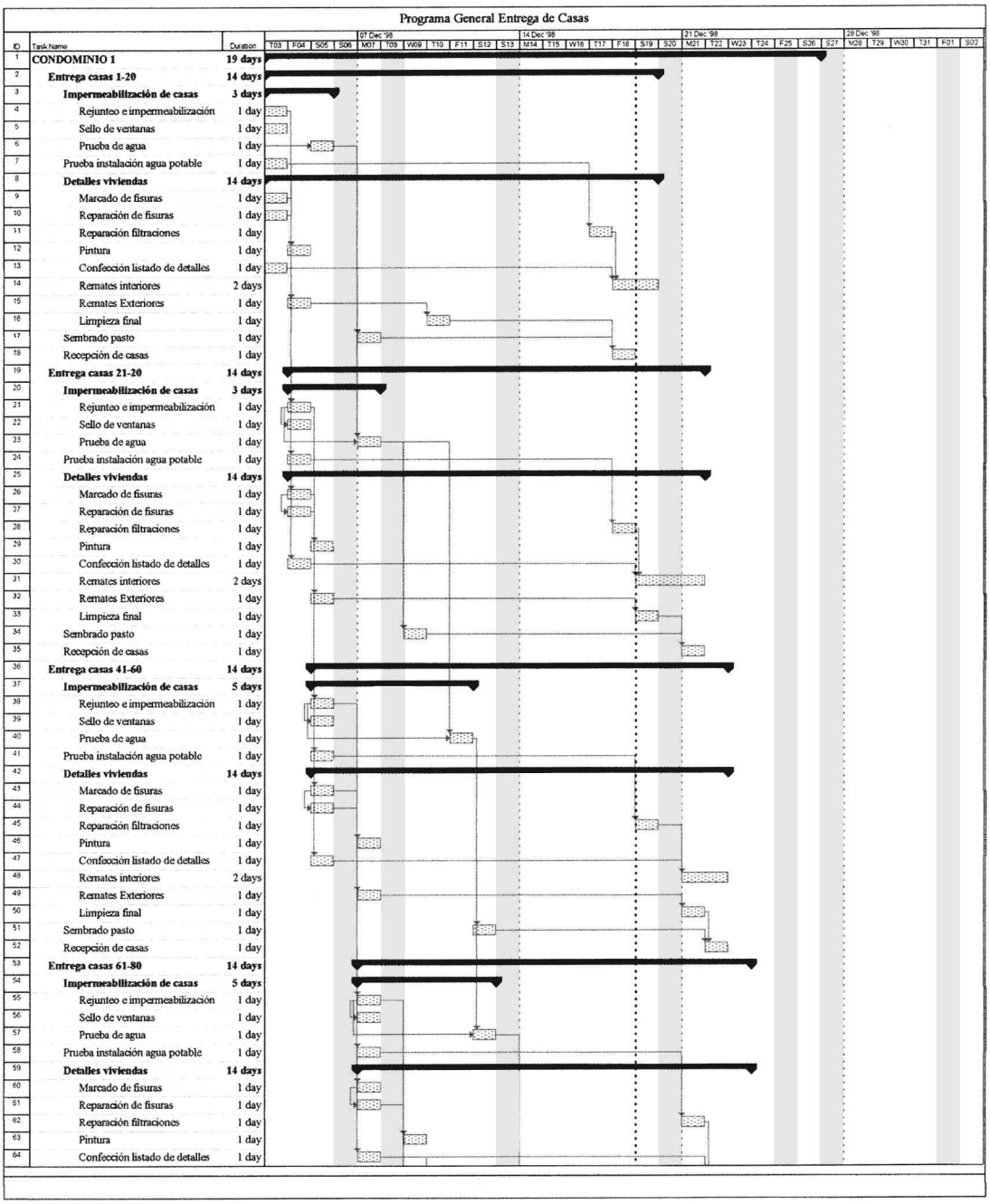

Programa General Entrega de Casas
ID
Task Name
Duration
1 CONDOMINIO 1 19 days
2 Entrega casas 1-20 14 days
3 Impermeabilización de casas 3 days
4 Rejunteo e impermeabilización 1 day
5 Sello de ventanas 1 day
6 Prueba de agua 1 day
7 Prueba instalación agua potable 1 day
8 Detalles viviendas 14 days
9 Marcado de fisuras 1 day
10 Reparación de fisuras 1 day
11 Reparación filtraciones 1 day
12 Pintura 1 day
13 Confección listado de detalles 1 day
14 Remates interiores 2 days
15 Remates Exteriores 1 day
16 Limpieza final 1 day
17 Sembrado patio 1 day
18 Recepción de casas 1 day
19 Entrega casas 21-20 14 days
20 Impermeabilización de casas 3 days
21 Rejunteo e impermeabilización 1 day
22 Sello de ventanas 1 day
23 Prueba de agua 1 day
24 Prueba instalación agua potable 1 day
25 Detalles viviendas 14 days
26 Marcado de fisuras 1 day
27 Reparación de fisuras 1 day
28 Reparación filtraciones 1 day
29 Pintura 1 day
30 Confección listado de detalles 1 day
31 Remates interiores 2 days
32 Remates Exteriores 1 day
33 Limpieza final 1 day
34 Sembrado patio 1 day
35 Recepción de casas 1 day
36 Entrega casas 41-60 14 days
37 Impermeabilización de casas 5 days
38 Rejunteo e impermeabilización 1 day
39 Sello de ventanas 1 day
40 Prueba de agua 1 day
41 Prueba instalación agua potable 1 day
42 Detalles viviendas 14 days
43 Marcado de fisuras 1 day
44 Reparación de fisuras 1 day
45 Reparación filtraciones 1 day
46 Pintura 1 day
47 Confección listado de detalles 1 day
48 Remates interiores 2 days
49 Remates Exteriores 1 day
50 Limpieza final 1 day
51 Sembrado patio 1 day
52 Recepción de casas 1 day
53 Entrega casas 61-80 14 days
54 Impermeabilización de casas 5 days
55 Rejunteo e impermeabilización 1 day
56 Sello de ventanas 1 day
57 Prueba de agua 1 day
58 Prueba instalación agua potable 1 day
59 Detalles viviendas 14 days
60 Marcado de fisuras 1 day
61 Reparación de fisuras 1 day
62 Reparación filtraciones 1 day
63 Pintura 1 day
64 Confección listado de detalles 1 day
65 Remates interiores 2 days
66 Remates Exteriores 1 day
67 Limpieza final 1 day
68 Sembrado patio 1 day
69 Recepción de casas 1 day
70 Entrega casas 81-100 14 days
71 Impermeabilización de casas 5 days
72 Rejunteo e impermeabilización 1 day
73 Sello de ventanas 1 day
74 Prueba de agua 1 day
75 Prueba instalación agua potable 1 day
76 Detalles viviendas 13 days
77 Marcado de fisuras 1 day
78 Reparación de fisuras 1 day
79 Reparación filtraciones 1 day
80 Pintura 1 day
81 Confección listado de detalles 1 day
82 Remates interiores 2 days
83 Remates Exteriores 1 day
84 Limpieza final 1 day
85 Sembrado patio 1 day
86 Recepción de casas 1 day
87 Entrega casas 101-118 14 days
88 Impermeabilización de casas 5 days
89 Rejunteo e impermeabilización 1 day
90 Sello de ventanas 1 day
91 Prueba de agua 1 day
92 Prueba instalación agua potable 1 day
93 Detalles viviendas 13 days
94 Marcado de fisuras 1 day
95 Reparación de fisuras 1 day
96 Reparación filtraciones 1 day
97 Pintura 1 day
98 Confección listado de detalles 1 day



ID	Task Name	Duration
99	Remates interiores	2 days
100	Remates Exteriores	1 day
101	Limpieza final	1 day
102	Sembrado pasto	1 day
103	Recepción de casas	1 day
104		
105	CONDOMINIO 1	18 days
106	Entrega casas 1-20	14 days
107	Impermeabilización de casas	5 days
108	Rejunteo e impermeabilización	1 day
109	Sello de ventanas	1 day
110	Prueba de agua	1 day
111	Prueba instalación agua potable	1 day
112	Detalles viviendas	13 days
113	Marcado de fisuras	1 day
114	Reparación de fisuras	1 day
115	Reparación filtraciones	1 day
116	Pintura	1 day
117	Confección listado de detalles	1 day
118	Remates interiores	2 days
119	Remates Exteriores	1 day
120	Limpieza final	1 day
121	Sembrado pasto	1 day
122	Recepción de casas	1 day
123	Entrega casas 21-20	14 days
124	Impermeabilización de casas	5 days
125	Rejunteo e impermeabilización	1 day
126	Sello de ventanas	1 day
127	Prueba de agua	1 day
128	Prueba instalación agua potable	1 day
129	Detalles viviendas	13 days
130	Marcado de fisuras	1 day
131	Reparación de fisuras	1 day
132	Reparación filtraciones	1 day
133	Pintura	1 day
134	Confección listado de detalles	1 day
135	Remates interiores	2 days
136	Remates Exteriores	1 day
137	Limpieza final	1 day
138	Sembrado pasto	1 day
139	Recepción de casas	1 day
140	Entrega casas 41-60	14 days
141	Impermeabilización de casas	5 days
142	Rejunteo e impermeabilización	1 day
143	Sello de ventanas	1 day
144	Prueba de agua	1 day
145	Prueba instalación agua potable	1 day
146	Detalles viviendas	13 days
147	Marcado de fisuras	1 day
148	Reparación de fisuras	1 day
149	Reparación filtraciones	1 day
150	Pintura	1 day
151	Confección listado de detalles	1 day
152	Remates interiores	2 days
153	Remates Exteriores	1 day
154	Limpieza final	1 day
155	Sembrado pasto	1 day
156	Recepción de casas	1 day
157	Entrega casas 61-80	14 days
158	Impermeabilización de casas	5 days
159	Rejunteo e impermeabilización	1 day
160	Sello de ventanas	1 day
161	Prueba de agua	1 day
162	Prueba instalación agua potable	1 day
163	Detalles viviendas	13 days
164	Marcado de fisuras	1 day
165	Reparación de fisuras	1 day
166	Reparación filtraciones	1 day
167	Pintura	1 day
168	Confección listado de detalles	1 day
169	Remates interiores	2 days
170	Remates Exteriores	1 day
171	Limpieza final	1 day
172	Sembrado pasto	1 day
173	Recepción de casas	1 day
174	Entrega casas 81-90	14 days
175	Impermeabilización de casas	5 days
176	Rejunteo e impermeabilización	1 day
177	Sello de ventanas	1 day
178	Prueba de agua	1 day
179	Prueba instalación agua potable	1 day
180	Detalles viviendas	13 days
181	Marcado de fisuras	1 day
182	Reparación de fisuras	1 day
183	Reparación filtraciones	1 day
184	Pintura	1 day
185	Confección listado de detalles	1 day
186	Remates interiores	2 days
187	Remates Exteriores	1 day
188	Limpieza final	1 day
189	Sembrado pasto	1 day
190	Recepción de casas	1 day

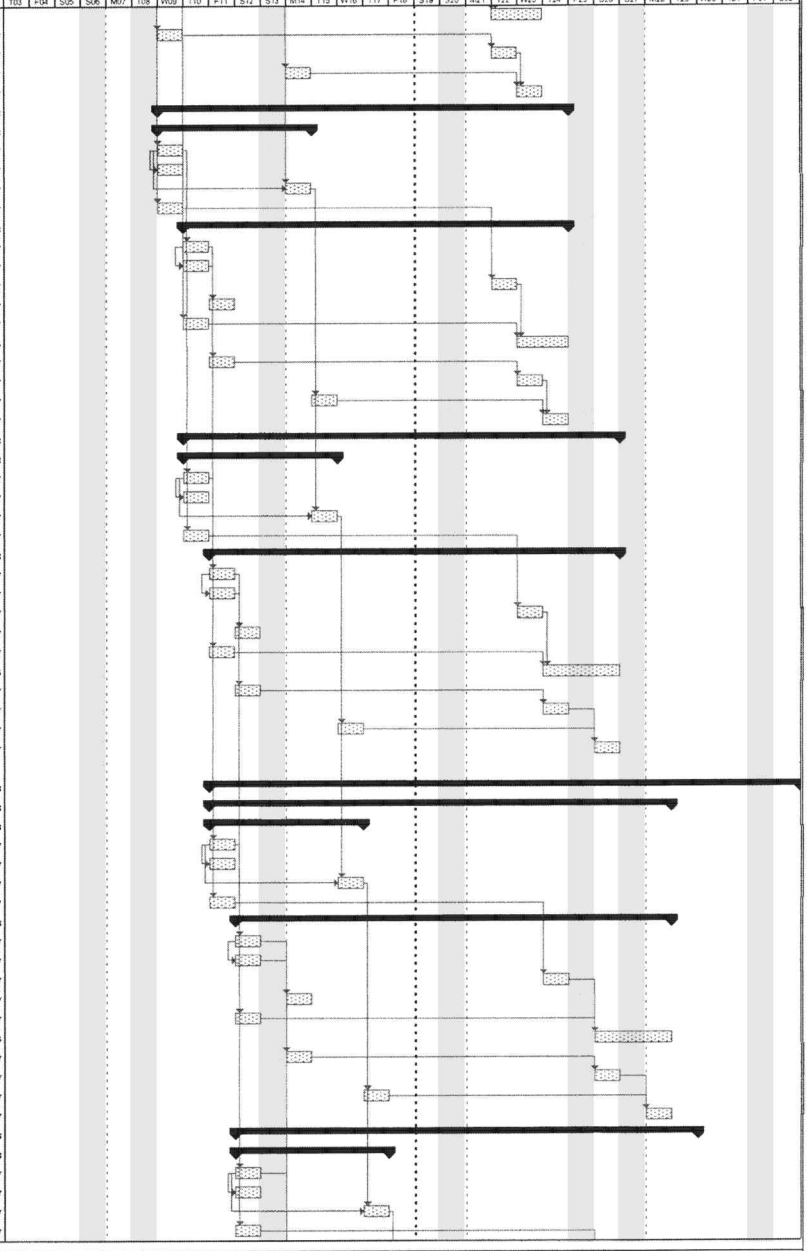
ANEXO 6

PROGRAMA GENERAL CON NIVELACIÓN DE RECURSOS (2ª nivelación)


Programa General Entrega de Casas
ID
Task Name
Duration
07 Dec '98
14 Dec '98
21 Dec '98
28 Dec '98
T03 F04 S05 S06 M07 T08 W09 T10 F11 S12 S13 M14 T15 W16 T17 F18 S19 S20 M21 T22 W23 T24 F25 S26 S27 M28 T29 W30 T31 F01 S02
1 CONDOMINIO 1 19 days
2 Entrega casas 1-20 14 days
3 Impermeabilización de casas 3 days
4 Rejunteo e impermeabilización 1 day
5 Sello de ventanas 1 day
6 Prueba de agua 1 day
7 Prueba instalación agua potable 1 day
8 Detalles viviendas 14 days
9 Marcado de fisuras 1 day
10 Reparación de fisuras 1 day
11 Reparación filtraciones 1 day
12 Pintura 1 day
13 Confección listado de detalles 1 day
14 Remates interiores 2 days
15 Remates Exteriores 1 day
16 Limpieza final 1 day
17 Sembrado pasto 1 day
18 Recepción de casas 1 day
19 Entrega casas 21-20 14 days
20 Impermeabilización de casas 3 days
21 Rejunteo e impermeabilización 1 day
22 Sello de ventanas 1 day
23 Prueba de agua 1 day
24 Prueba instalación agua potable 1 day
25 Detalles viviendas 14 days
26 Marcado de fisuras 1 day
27 Reparación de fisuras 1 day
28 Reparación filtraciones 1 day
29 Pintura 1 day
30 Confección listado de detalles 1 day
31 Remates interiores 2 days
32 Remates Exteriores 1 day
33 Limpieza final 1 day
34 Sembrado pasto 1 day
35 Recepción de casas 1 day
36 Entrega casas 41-60 14 days
37 Impermeabilización de casas 5 days
38 Rejunteo e impermeabilización 1 day
39 Sello de ventanas 1 day
40 Prueba de agua 1 day
41 Prueba instalación agua potable 1 day
42 Detalles viviendas 14 days
43 Marcado de fisuras 1 day
44 Reparación de fisuras 1 day
45 Reparación filtraciones 1 day
46 Pintura 1 day
47 Confección listado de detalles 1 day
48 Remates interiores 2 days
49 Remates Exteriores 1 day
50 Limpieza final 1 day
51 Sembrado pasto 1 day
52 Recepción de casas 1 day
53 Entrega casas 61-80 14 days
54 Impermeabilización de casas 5 days
55 Rejunteo e impermeabilización 1 day
56 Sello de ventanas 1 day
57 Prueba de agua 1 day
58 Prueba instalación agua potable 1 day
59 Detalles viviendas 14 days
60 Marcado de fisuras 1 day
61 Reparación de fisuras 1 day
62 Reparación filtraciones 1 day
63 Pintura 1 day
64 Confección listado de detalles 1 day

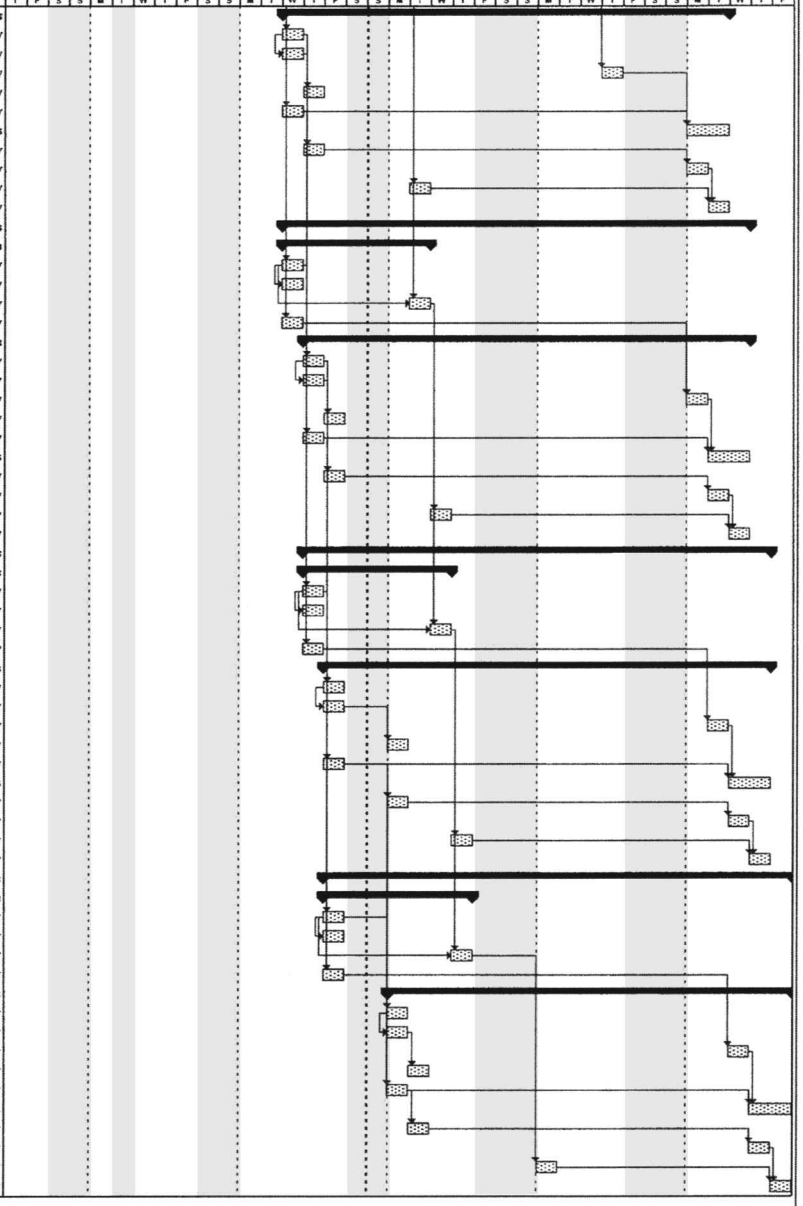
Programa General Entrega de Casas

ID	Task Name	Duration
65	Remates interiores	2 days
66	Remates Exteriores	1 day
67	Limpieza final	1 day
68	Sembrado pasto	1 day
69	Recepción de casas	1 day
70	**Entrega casas 81-100**	**14 days**
71	**Impermeabilización de casas**	**5 days**
72	Rejunteo e impermeabilización	1 day
73	Sello de ventanas	1 day
74	Prueba de agua	1 day
75	Prueba instalación agua potable	1 day
76	**Detalles viviendas**	**13 days**
77	Marcado de fisuras	1 day
78	Reparación de fisuras	1 day
79	Reparación filtraciones	1 day
80	Pintura	1 day
81	Confección listado de detalles	1 day
82	Remates interiores	2 days
83	Remates Exteriores	1 day
84	Limpieza final	1 day
85	Sembrado pasto	1 day
86	Recepción de casas	1 day
87	**Entrega casas 101-118**	**14 days**
88	**Impermeabilización de casas**	**5 days**
89	Rejunteo e impermeabilización	1 day
90	Sello de ventanas	1 day
91	Prueba de agua	1 day
92	Prueba instalación agua potable	1 day
93	**Detalles viviendas**	**13 days**
94	Marcado de fisuras	1 day
95	Reparación de fisuras	1 day
96	Reparación filtraciones	1 day
97	Pintura	1 day
98	Confección listado de detalles	1 day
99	Remates interiores	2 days
100	Remates Exteriores	1 day
101	Limpieza final	1 day
102	Sembrado pasto	1 day
103	Recepción de casas	1 day
104		
105	**CONDOMINIO 2**	**18 days**
106	**Entrega casas 1-20**	**14 days**
107	**Impermeabilización de casas**	**5 days**
108	Rejunteo e impermeabilización	1 day
109	Sello de ventanas	1 day
110	Prueba de agua	1 day
111	Prueba instalación agua potable	1 day
112	**Detalles viviendas**	**13 days**
113	Marcado de fisuras	1 day
114	Reparación de fisuras	1 day
115	Reparación filtraciones	1 day
116	Pintura	1 day
117	Confección listado de detalles	1 day
118	Remates interiores	2 days
119	Remates Exteriores	1 day
120	Limpieza final	1 day
121	Sembrado pasto	1 day
122	Recepción de casas	1 day
123	**Entrega casas 21-20**	**14 days**
124	**Impermeabilización de casas**	**5 days**
125	Rejunteo e impermeabilización	1 day
126	Sello de ventanas	1 day
127	Prueba de agua	1 day
128	Prueba instalación agua potable	1 day



Programa General Entrega de Casas

ID	Task Name	Duration
129	**Detalles viviendas**	**13 days**
130	Marcado de fisuras	1 day
131	Reparación de fisuras	1 day
132	Reparación filtraciones	1 day
133	Pintura	1 day
134	Confección listado de detalles	1 day
135	Remates interiores	2 days
136	Remates Exteriores	1 day
137	Limpieza final	1 day
138	Sembrado pasto	1 day
139	Recepción de casas	1 day
140	**Entrega casas 41-60**	**14 days**
141	**Impermeabilización de casas**	**5 days**
142	Rejunteo e impermeabilización	1 day
143	Sello de ventanas	1 day
144	Prueba de agua	1 day
145	Prueba instalación agua potable	1 day
146	**Detalles viviendas**	**13 days**
147	Marcado de fisuras	1 day
148	Reparación de fisuras	1 day
149	Reparación filtraciones	1 day
150	Pintura	1 day
151	Confección listado de detalles	1 day
152	Remates interiores	2 days
153	Remates Exteriores	1 day
154	Limpieza final	1 day
155	Sembrado pasto	1 day
156	Recepción de casas	1 day
157	**Entrega casas 61-80**	**14 days**
158	**Impermeabilización de casas**	**5 days**
159	Rejunteo e impermeabilización	1 day
160	Sello de ventanas	1 day
161	Prueba de agua	1 day
162	Prueba instalación agua potable	1 day
163	**Detalles viviendas**	**13 days**
164	Marcado de fisuras	1 day
165	Reparación de fisuras	1 day
166	Reparación filtraciones	1 day
167	Pintura	1 day
168	Confección listado de detalles	1 day
169	Remates interiores	2 days
170	Remates Exteriores	1 day
171	Limpieza final	1 day
172	Sembrado pasto	1 day
173	Recepción de casas	1 day
174	**Entrega casas 81-90**	**14 days**
175	**Impermeabilización de casas**	**5 days**
176	Rejunteo e impermeabilización	1 day
177	Sello de ventanas	1 day
178	Prueba de agua	1 day
179	Prueba instalación agua potable	1 day
180	**Detalles viviendas**	**13 days**
181	Marcado de fisuras	1 day
182	Reparación de fisuras	1 day
183	Reparación filtraciones	1 day
184	Pintura	1 day
185	Confección listado de detalles	1 day
186	Remates interiores	2 days
187	Remates Exteriores	1 day
188	Limpieza final	1 day
189	Sembrado pasto	1 day
190	Recepción de casas	1 day

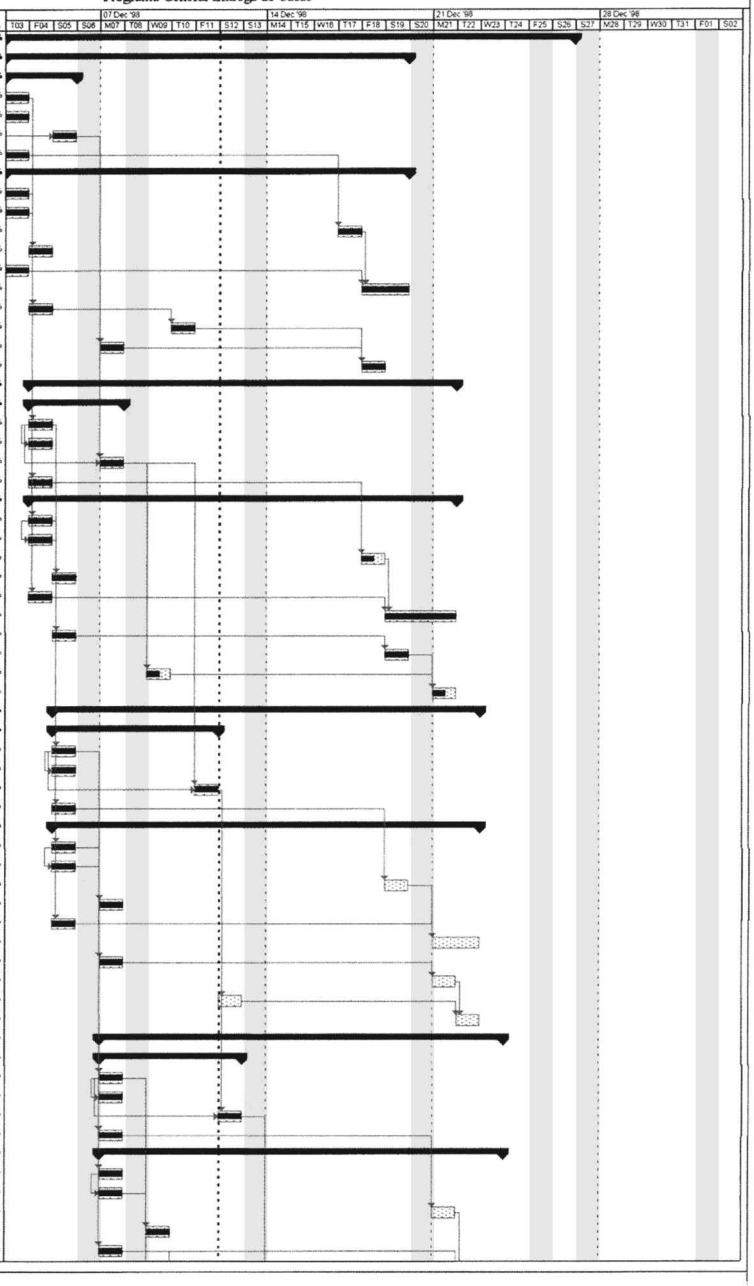


ANEXO 7

PROGRAMA GENERAL CON AVANCES INCORPORADOS

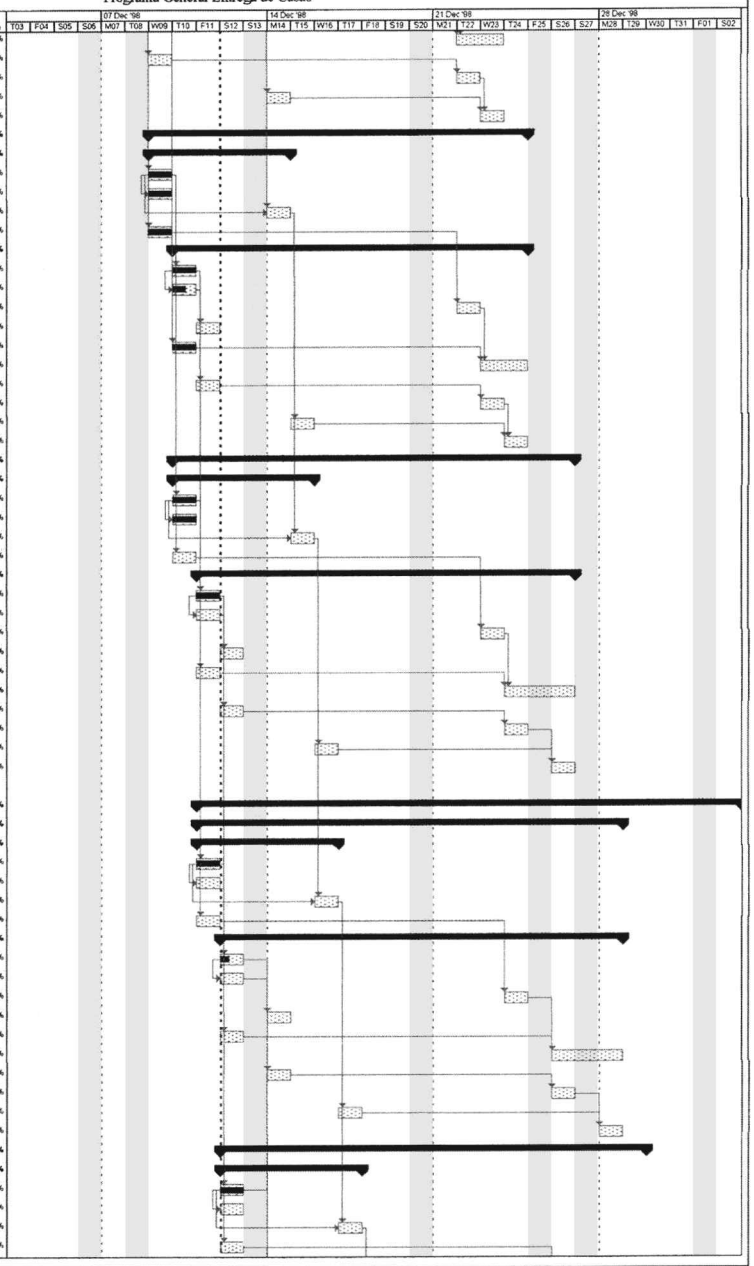
Programa General Entrega de Casas

ID	Task Name	Duration	% Complete
1	**CONDOMINIO 1**	**19 days**	**60%**
2	**Entrega casas 1-20**	**14 days**	**100%**
3	**Impermeabilización de casas**	**3 days**	**100%**
4	Rejunteo e impermeabilización	1 day	100%
5	Sello de ventanas	1 day	100%
6	Prueba de agua	1 day	100%
7	Prueba instalación agua potable	1 day	100%
8	**Detalles viviendas**	**14 days**	**100%**
9	Marcado de fisuras	1 day	100%
10	Reparación de fisuras	1 day	100%
11	Reparación filtraciones	1 day	100%
12	Pintura	1 day	100%
13	Confección listado de detalles	1 day	100%
14	Remates interiores	2 days	100%
15	Remates Exteriores	1 day	100%
16	Limpieza final	1 day	100%
17	Sembrado pasto	1 day	100%
18	Recepción de casas	1 day	100%
19	**Entrega casas 21-40**	**14 days**	**90%**
20	**Impermeabilización de casas**	**3 days**	**100%**
21	Rejunteo e impermeabilización	1 day	100%
22	Sello de ventanas	1 day	100%
23	Prueba de agua	1 day	100%
24	Prueba instalación agua potable	1 day	100%
25	**Detalles viviendas**	**14 days**	**94%**
26	Marcado de fisuras	1 day	100%
27	Reparación de fisuras	1 day	100%
28	Reparación filtraciones	1 day	50%
29	Pintura	1 day	100%
30	Confección listado de detalles	1 day	100%
31	Remates interiores	2 days	100%
32	Remates Exteriores	1 day	100%
33	Limpieza final	1 day	100%
34	Sembrado pasto	1 day	50%
35	Recepción de casas	1 day	50%
36	**Entrega casas 41-60**	**14 days**	**60%**
37	**Impermeabilización de casas**	**5 days**	**100%**
38	Rejunteo e impermeabilización	1 day	100%
39	Sello de ventanas	1 day	100%
40	Prueba de agua	1 day	100%
41	Prueba instalación agua potable	1 day	100%
42	**Detalles viviendas**	**14 days**	**56%**
43	Marcado de fisuras	1 day	100%
44	Reparación de fisuras	1 day	100%
45	Reparación filtraciones	1 day	0%
46	Pintura	1 day	100%
47	Confección listado de detalles	1 day	100%
48	Remates interiores	2 days	0%
49	Remates Exteriores	1 day	100%
50	Limpieza final	1 day	0%
51	Sembrado pasto	1 day	0%
52	Recepción de casas	1 day	0%
53	**Entrega casas 61-80**	**14 days**	**53%**
54	**Impermeabilización de casas**	**5 days**	**100%**
55	Rejunteo e impermeabilización	1 day	100%
56	Sello de ventanas	1 day	100%
57	Prueba de agua	1 day	100%
58	Prueba instalación agua potable	1 day	100%
59	**Detalles viviendas**	**14 days**	**44%**
60	Marcado de fisuras	1 day	100%
61	Reparación de fisuras	1 day	100%
62	Reparación filtraciones	1 day	0%
63	Pintura	1 day	100%
64	Confección listado de detalles	1 day	100%



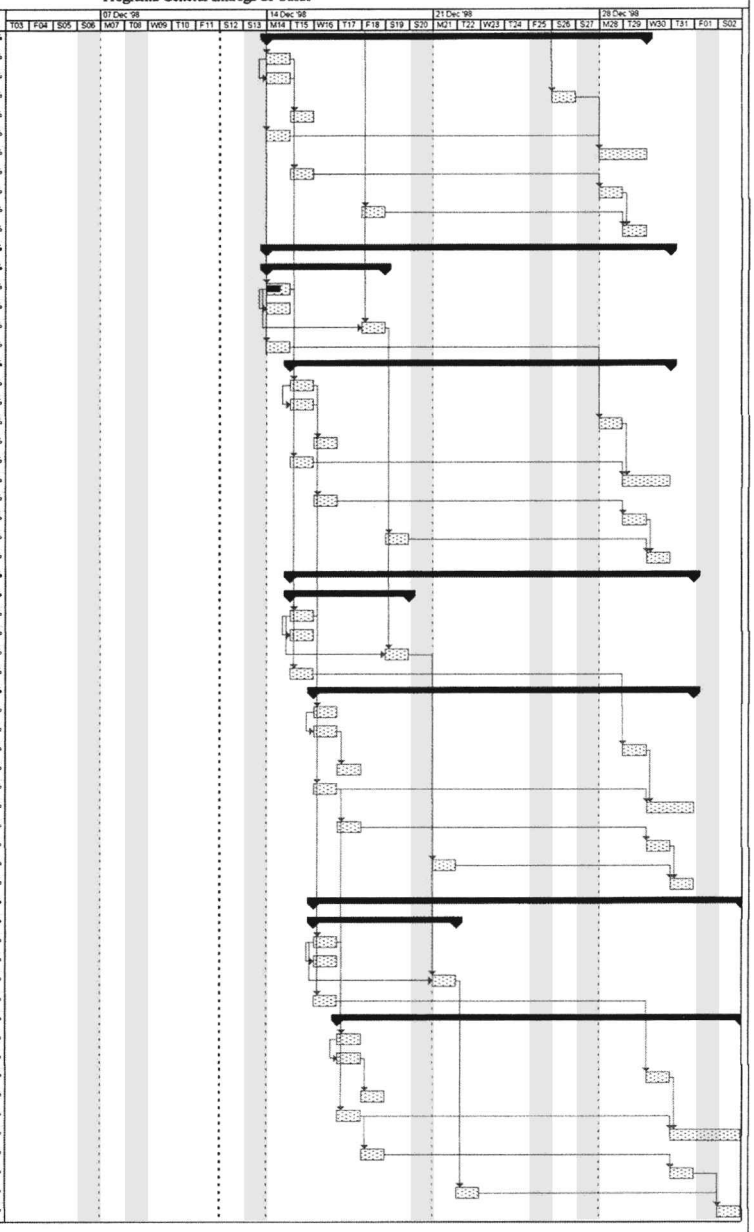
Programa General Entrega de Casas

ID	Task Name	Duration	% Complete
65	Remates interiores	2 days	0%
66	Remates Exteriores	1 day	0%
67	Limpieza final	1 day	0%
68	Sembrado pasto	1 day	0%
69	Recepción de casas	1 day	0%
70	**Entrega casas 81-100**	**14 days**	**37%**
71	**Impermeabilización de casas**	**5 days**	**67%**
72	Rejunteo e impermeabilización	1 day	100%
73	Sello de ventanas	1 day	100%
74	Prueba de agua	1 day	0%
75	Prueba instalación agua potable	1 day	100%
76	**Detalles viviendas**	**13 days**	**28%**
77	Marcado de fisuras	1 day	100%
78	Reparación de fisuras	1 day	50%
79	Reparación filtraciones	1 day	0%
80	Pintura	1 day	0%
81	Confección listado de detalles	1 day	100%
82	Remates interiores	2 days	0%
83	Remates Exteriores	1 day	0%
84	Limpieza final	1 day	0%
85	Sembrado pasto	1 day	0%
86	Recepción de casas	1 day	0%
87	**Entrega casas 101-118**	**14 days**	**20%**
88	**Impermeabilización de casas**	**5 days**	**67%**
89	Rejunteo e impermeabilización	1 day	100%
90	Sello de ventanas	1 day	100%
91	Prueba de agua	1 day	0%
92	Prueba instalación agua potable	1 day	0%
93	**Detalles viviendas**	**13 days**	**11%**
94	Marcado de fisuras	1 day	100%
95	Reparación de fisuras	1 day	0%
96	Reparación filtraciones	1 day	0%
97	Pintura	1 day	0%
98	Confección listado de detalles	1 day	0%
99	Remates interiores	2 days	0%
100	Remates Exteriores	1 day	0%
101	Limpieza final	1 day	0%
102	Sembrado pasto	1 day	0%
103	Recepción de casas	1 day	0%
104			
105	**CONDOMINIO 2**	**18 days**	**4%**
106	**Entrega casas 1-20**	**14 days**	**7%**
107	**Impermeabilización de casas**	**5 days**	**33%**
108	Rejunteo e impermeabilización	1 day	100%
109	Sello de ventanas	1 day	0%
110	Prueba de agua	1 day	0%
111	Prueba instalación agua potable	1 day	0%
112	**Detalles viviendas**	**13 days**	**1%**
113	Marcado de fisuras	1 day	10%
114	Reparación de fisuras	1 day	0%
115	Reparación filtraciones	1 day	0%
116	Pintura	1 day	0%
117	Confección listado de detalles	1 day	0%
118	Remates interiores	2 days	0%
119	Remates Exteriores	1 day	0%
120	Limpieza final	1 day	0%
121	Sembrado pasto	1 day	0%
122	Recepción de casas	1 day	0%
123	**Entrega casas 21-40**	**14 days**	**7%**
124	**Impermeabilización de casas**	**5 days**	**33%**
125	Rejunteo e impermeabilización	1 day	100%
126	Sello de ventanas	1 day	0%
127	Prueba de agua	1 day	0%
128	Prueba instalación agua potable	1 day	0%



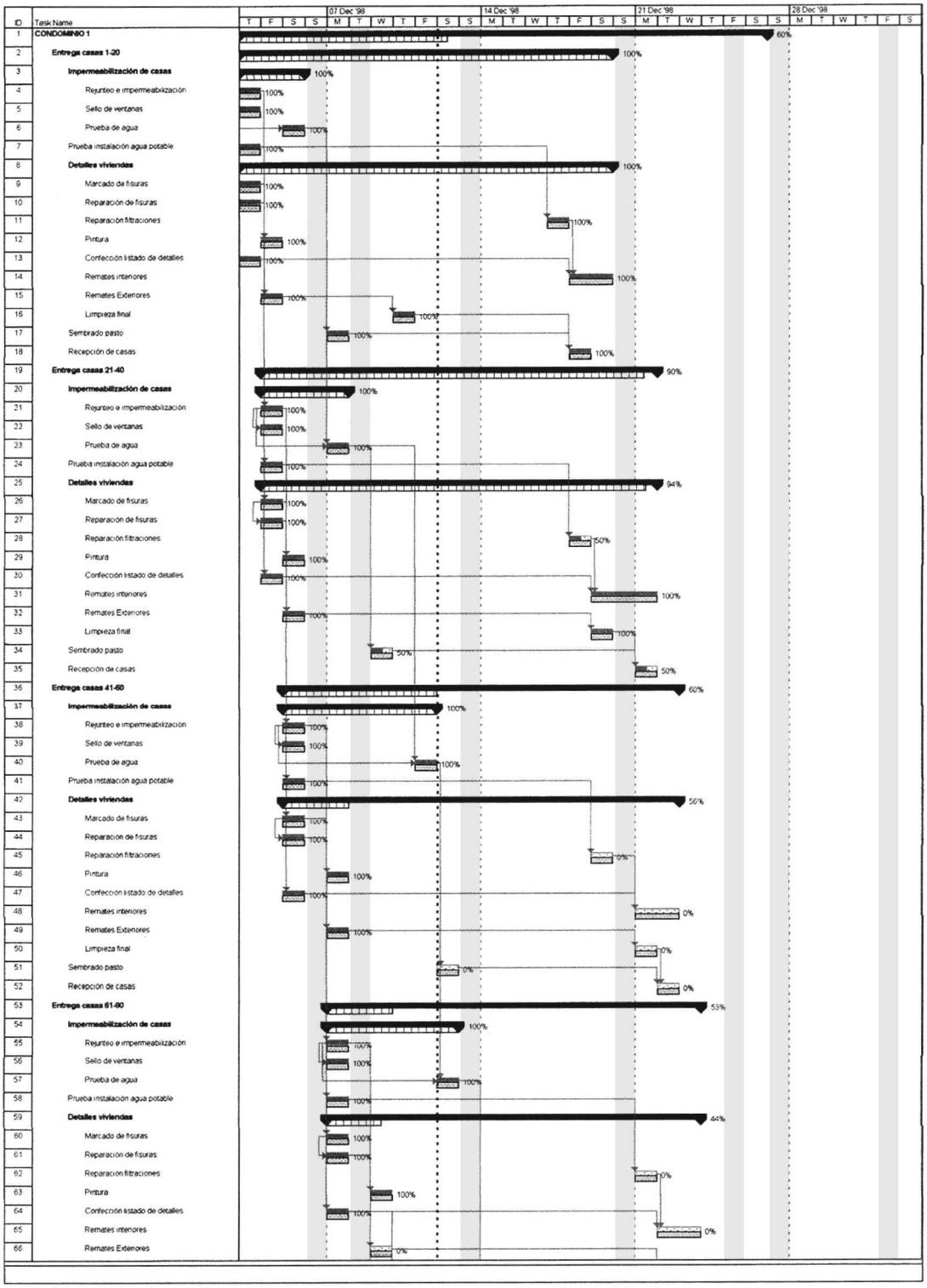
Programa General Entrega de Casas

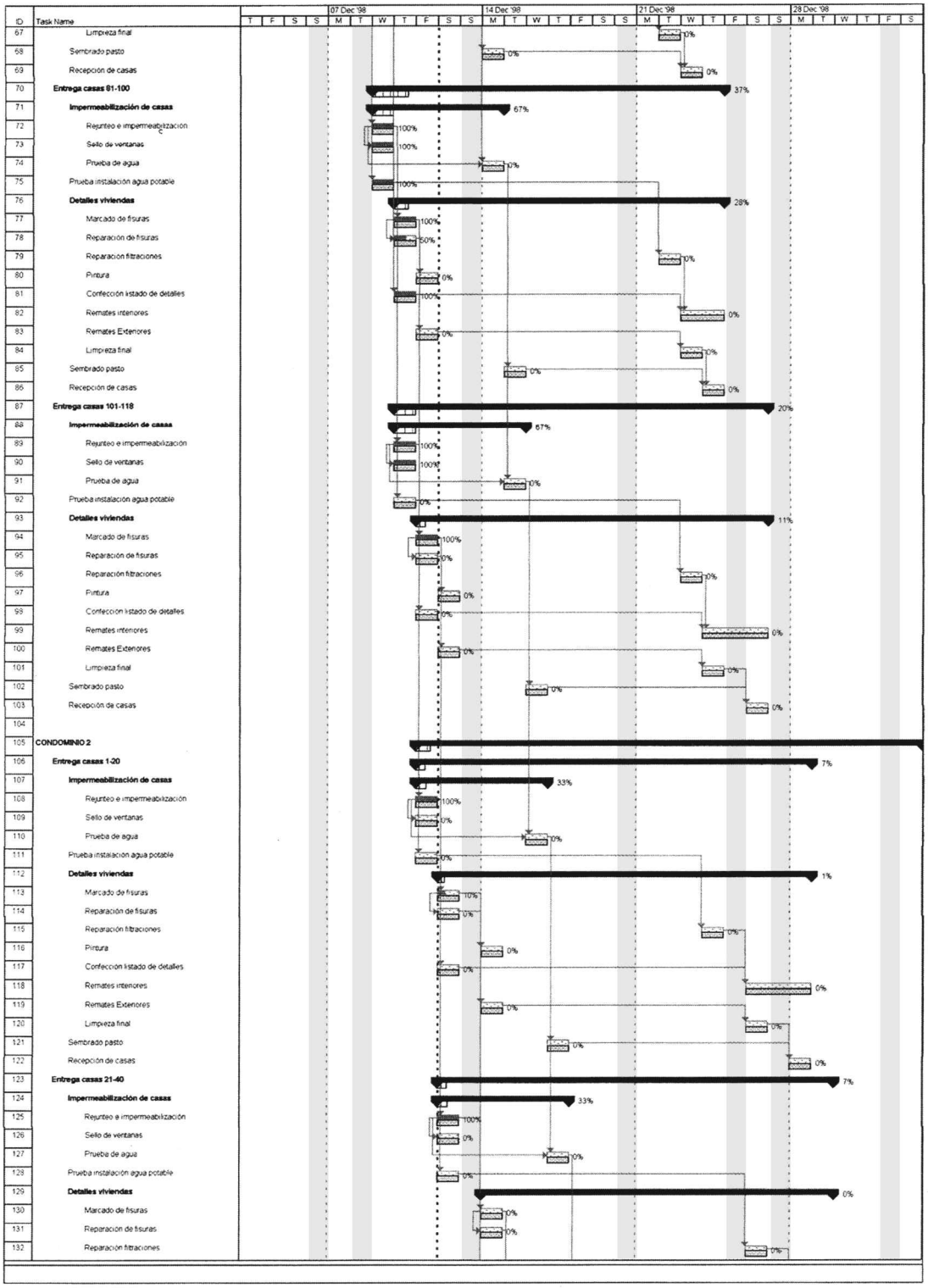
ID	Task Name	Duration	% Complete
129	**Detalles viviendas**	**13 days**	**0%**
130	Marcado de fisuras	1 day	0%
131	Reparación de fisuras	1 day	0%
132	Reparación filtraciones	1 day	0%
133	Pintura	1 day	0%
134	Confección listado de detalles	1 day	0%
135	Remates interiores	2 days	0%
136	Remates Exteriores	1 day	0%
137	Limpieza final	1 day	0%
138	Sembrado pasto	1 day	0%
139	Recepción de casas	1 day	0%
140	**Entrega casas 41-60**	**14 days**	**4%**
141	**Impermeabilización de casas**	**5 days**	**20%**
142	Rejunteo e impermeabilización	1 day	60%
143	Sello de ventanas	1 day	0%
144	Prueba de agua	1 day	0%
145	Prueba instalación agua potable	1 day	0%
146	**Detalles viviendas**	**13 days**	**0%**
147	Marcado de fisuras	1 day	0%
148	Reparación de fisuras	1 day	0%
149	Reparación filtraciones	1 day	0%
150	Pintura	1 day	0%
151	Confección listado de detalles	1 day	0%
152	Remates interiores	2 days	0%
153	Remates Exteriores	1 day	0%
154	Limpieza final	1 day	0%
155	Sembrado pasto	1 day	0%
156	Recepción de casas	1 day	0%
157	**Entrega casas 61-80**	**14 days**	**0%**
158	**Impermeabilización de casas**	**5 days**	**0%**
159	Rejunteo e impermeabilización	1 day	0%
160	Sello de ventanas	1 day	0%
161	Prueba de agua	1 day	0%
162	Prueba instalación agua potable	1 day	0%
163	**Detalles viviendas**	**13 days**	**0%**
164	Marcado de fisuras	1 day	0%
165	Reparación de fisuras	1 day	0%
166	Reparación filtraciones	1 day	0%
167	Pintura	1 day	0%
168	Confección listado de detalles	1 day	0%
169	Remates interiores	2 days	0%
170	Remates Exteriores	1 day	0%
171	Limpieza final	1 day	0%
172	Sembrado pasto	1 day	0%
173	Recepción de casas	1 day	0%
174	**Entrega casas 81-90**	**14 days**	**0%**
175	**Impermeabilización de casas**	**5 days**	**0%**
176	Rejunteo e impermeabilización	1 day	0%
177	Sello de ventanas	1 day	0%
178	Prueba de agua	1 day	0%
179	Prueba instalación agua potable	1 day	0%
180	**Detalles viviendas**	**13 days**	**0%**
181	Marcado de fisuras	1 day	0%
182	Reparación de fisuras	1 day	0%
183	Reparación filtraciones	1 day	0%
184	Pintura	1 day	0%
185	Confección listado de detalles	1 day	0%
186	Remates interiores	2 days	0%
187	Remates Exteriores	1 day	0%
188	Limpieza final	1 day	0%
189	Sembrado pasto	1 day	0%
190	Recepción de casas	1 day	0%

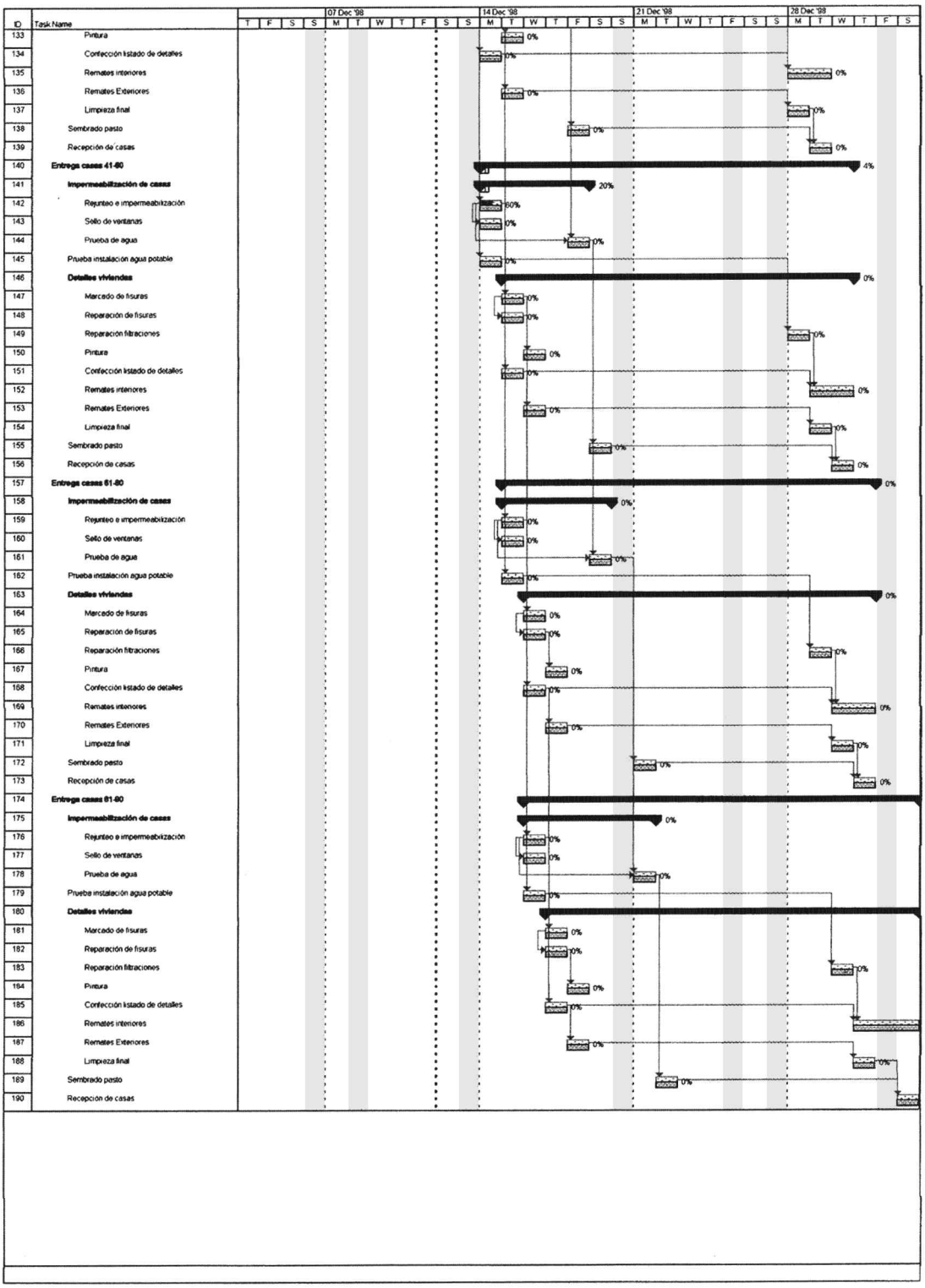


ANEXO 8

PROGRAMA GENERAL
CARTA GANTT
DE SEGUIMIENTO


ID
Task Name
07 Dec '98
14 Dec '98
21 Dec '98
28 Dec '98
1 CONDOMINIO 1
2 Entrega casas 1-20
3 Impermeabilización de casas
4 Rejunteo e impermeabilización
5 Sello de ventanas
6 Prueba de agua
7 Prueba instalación agua potable
8 Detalles viviendas
9 Marcado de fisuras
10 Reparación de fisuras
11 Reparación filtraciones
12 Pintura
13 Confección listado de detalles
14 Remates interiores
15 Remates Exteriores
16 Limpieza final
17 Sembrado pasto
18 Recepción de casas
19 Entrega casas 21-40
20 Impermeabilización de casas
21 Rejunteo e impermeabilización
22 Sello de ventanas
23 Prueba de agua
24 Prueba instalación agua potable
25 Detalles viviendas
26 Marcado de fisuras
27 Reparación de fisuras
28 Reparación filtraciones
29 Pintura
30 Confección listado de detalles
31 Remates interiores
32 Remates Exteriores
33 Limpieza final
34 Sembrado pasto
35 Recepción de casas
36 Entrega casas 41-60
37 Impermeabilización de casas
38 Rejunteo e impermeabilización
39 Sello de ventanas
40 Prueba de agua
41 Prueba instalación agua potable
42 Detalles viviendas
43 Marcado de fisuras
44 Reparación de fisuras
45 Reparación filtraciones
46 Pintura
47 Confección listado de detalles
48 Remates interiores
49 Remates Exteriores
50 Limpieza final
51 Sembrado pasto
52 Recepción de casas
53 Entrega casas 61-80
54 Impermeabilización de casas
55 Rejunteo e impermeabilización
56 Sello de ventanas
57 Prueba de agua
58 Prueba instalación agua potable
59 Detalles viviendas
60 Marcado de fisuras
61 Reparación de fisuras
62 Reparación filtraciones
63 Pintura
64 Confección listado de detalles
65 Remates interiores
66 Remates Exteriores


ID
Task Name
07 Dec '98
14 Dec '98
21 Dec '98
28 Dec '98
67 Limpreza final
68 Sembrado pasto
69 Recepción de casas
70 Entrega casas 81-100
71 Impermeabilización de casas
72 Rejunteo e impermeabilización
73 Sello de ventanas
74 Prueba de agua
75 Prueba instalación agua potable
76 Detalles viviendas
77 Marcado de fisuras
78 Reparación de fisuras
79 Reparación filtraciones
80 Pintura
81 Confección listado de detalles
82 Remates interiores
83 Remates Exteriores
84 Limpreza final
85 Sembrado pasto
86 Recepción de casas
87 Entrega casas 101-118
88 Impermeabilización de casas
89 Rejunteo e impermeabilización
90 Sello de ventanas
91 Prueba de agua
92 Prueba instalación agua potable
93 Detalles viviendas
94 Marcado de fisuras
95 Reparación de fisuras
96 Reparación filtraciones
97 Pintura
98 Confección listado de detalles
99 Remates interiores
100 Remates Exteriores
101 Limpreza final
102 Sembrado pasto
103 Recepción de casas
104
105 CONDOMINIO 2
106 Entrega casas 1-20
107 Impermeabilización de casas
108 Rejunteo e impermeabilización
109 Sello de ventanas
110 Prueba de agua
111 Prueba instalación agua potable
112 Detalles viviendas
113 Marcado de fisuras
114 Reparación de fisuras
115 Reparación filtraciones
116 Pintura
117 Confección listado de detalles
118 Remates interiores
119 Remates Exteriores
120 Limpreza final
121 Sembrado pasto
122 Recepción de casas
123 Entrega casas 21-40
124 Impermeabilización de casas
125 Rejunteo e impermeabilización
126 Sello de ventanas
127 Prueba de agua
128 Prueba instalación agua potable
129 Detalles viviendas
130 Marcado de fisuras
131 Reparación de fisuras
132 Reparación filtraciones


ID
Task Name
07 Dec '98
14 Dec '98
21 Dec '98
28 Dec '98
133 Pintura
134 Confección listado de detalles
135 Remates interiores
136 Remates Exteriores
137 Limpieza final
138 Sembrado pasto
139 Recepción de casas
140 Entrega casas 41-60
141 Impermeabilización de casas
142 Rejunteo e impermeabilización
143 Sello de ventanas
144 Prueba de agua
145 Prueba instalación agua potable
146 Detalles viviendas
147 Marcado de fisuras
148 Reparación de fisuras
149 Reparación filtraciones
150 Pintura
151 Confección listado de detalles
152 Remates interiores
153 Remates Exteriores
154 Limpieza final
155 Sembrado pasto
156 Recepción de casas
157 Entrega casas 61-80
158 Impermeabilización de casas
159 Rejunteo e impermeabilización
160 Sello de ventanas
161 Prueba de agua
162 Prueba instalación agua potable
163 Detalles viviendas
164 Marcado de fisuras
165 Reparación de fisuras
166 Reparación filtraciones
167 Pintura
168 Confección listado de detalles
169 Remates interiores
170 Remates Exteriores
171 Limpieza final
172 Sembrado pasto
173 Recepción de casas
174 Entrega casas 81-80
175 Impermeabilización de casas
176 Rejunteo e impermeabilización
177 Sello de ventanas
178 Prueba de agua
179 Prueba instalación agua potable
180 Detalles viviendas
181 Marcado de fisuras
182 Reparación de fisuras
183 Reparación filtraciones
184 Pintura
185 Confección listado de detalles
186 Remates interiores
187 Remates Exteriores
188 Limpieza final
189 Sembrado pasto
190 Recepción de casas

ÍNDICE TEMÁTICO

Aceleración de un proyecto, 175
Ackoff, R., 17
Acontecimiento(s), 42
Actividad(es), 13, 15, 19, 20, 33, 42, 46
Actividad crítica, 62
Actividad de desarrollo continuo, 43, 79
Actividad de desarrollo discontinuo, 43, 79
Actividad en proceso, 43
Actividad paralizada, 43
Actividad programada, 43
Actividad terminada, 43
Actividades mutuamente excluyentes, 43
Actividades periódicas, 43
Actualización, 24
Actualización de programas, 174
Administración de Proyectos, 12, 13, 21, 22, 23, 27
Administración, 14, 18, 34
Administrador del proyecto, 13
Al-Bahar, J.F., 26
Alcance del proyecto, 34
Algoritmo de compresión, 179
American Management Association, 17
Análisis, 17, 18, 21, 24
Análisis de mallas, 61
Análisis de recursos, 133, 139
Anticipación, 17
Asignación de recursos, 139, 141-147
  Reglas heurísticas, 141
Atributos cualitativos de las actividades, 42
Atributos cuantitativos de las actividades, 42
Aumento de obra, 195
Avance teórico, 42
Balance, Línea de, 15
Cálculo de holguras, 74
Cálculo de mallas CPM, 68, 69
Calendarios de trabajo, 43, 169
Calidad, 13
Cambio, 11, 12
Capital de trabajo, 134
Características de proyectos, 12
Carta de barras, 14, 56, 58
Carta de barras ligadas, 59
Carta Gantt, 14, 56, 58, 60, 170
Chapman, C., 26
Ciclo de vida, 13, 15, 16
Codificación de la ESP, 41
Competencia, 11
Conceptualización del proyecto, 16
Construcción, 11, 12, 14, 15
Control, 13, 14, 17, 18, 19, 22, 24, 189-192

Control de costos, 195
Coordinar, coordinación, 15, 18, 21
Costo, 13, 33
Costo actual del trabajo ejecutado (CATE), 197
Costo de aceleración, 181
Costo de rotura, 177
Costo estimado, 42
Costo normal, 177
Costo óptimo de la estimación, 46
Costo presupuestado del trabajo ejecutado (CPTE), 197
Costo presupuestado del trabajo programado (CPTP), 197
Costos de una obra, 48
CPM (Critical Path Method), 14, 61
Crandall, K.C., 26
Cronograma, 141
Curso de acción, 18
Curva de costos, 176
Curva de recursos, 135, 138
Curva de requerimientos de caja, 156
Curva S, 195-196
Decision CPM, 15
Decisión(es), 16, 17
Definición del proyecto, 16, 17, 24, 31, 33
Desarrollo del proyecto, 16
Descomposición del proyecto, 19
Desembolsos, 153
Desempeño, 14, 23
Desfases entre actividades, 64, 65
Despliegue de la función de calidad, 34
Desviación(es), 19
Diagrama flecha-actividad, 61, 67
Diagrama nodo-actividad, 61, 67
Diagramas lógicos, 61
Dibujo de mallas, 65, 67
Dirección, 13, 22
Distribución Beta, 96
Distribución Normal, 98
Distribución Normal Estándar, 99
Duración(es), 20, 33
Distribución de probabilidad, 94
Duración de rotura, 177
Duración estimada, 42
Duración más probable, 95
Duración normal, 177
Duración optimista, 95
Duración pesimista, 95
Eisenhower, D., 17
Ejecución del proyecto, 15, 16, 17, 18
Empresa, 11
Equipos, 23
Escala de tiempo, 20
Especificación de una actividad, 44
Estado de pago, 153
Estimación al término (EAT), 197
Estimación conceptual, 47
Estimación de costo, 46
Estimación de orden de magnitud, 47
Estimación de tiempo, 46
Estimación definitiva, 47
Estimación detallada o preliminar, 47
Estimación para terminar (EPT), 197
Estructura de Subdivisión de la Organización (ESO), 33, 39, 40
Estructura de Subdivisión del Proyecto (ESP), 20, 33, 38, 39, 40, 41
Estructura de un sistema, 22
Etapas de la planificación, 36
Evaluación, 24
Exactitud de las estimaciones, 47
Expectativas del proyecto, 38
Factibilidad, 21, 22
Fechas de inicio y término, 42, 69
Fechas programadas, 83
Flujo de caja de un proyecto, 152
Formato del diagrama flecha-actividad, 63
Formato del diagrama nodo-actividad, 63, 64

Función curva continua, 178
Función discreta, 178
Función lineal continua, 177
Función multilineal, 178
Gantt, H., 14
Gasto, 153
GERT (Graphical Evaluation and Review Technique), 15, 103-106
Gráfico de velocidad, 120, 125-126
Herramienta(s), 13, 14, 18
Histograma de un recurso, 137-138
Hitos del proyecto, 42, 49
Hitos incrementales (método de), 193
Holgura de las actividades, 73
Holgura libre, 73
Holgura total, 73
Implantación, 24
Imprevistos, 18
Incertidumbre, 12, 13, 17, 93
Indices de avance, 194
Teórico o con presupuesto fijo, 194
Real o con presupuesto variable, 195
Indice de desempeño de costo, 197
Indice de desempeño de programa, 197
Industria de la Construcción, 12
Información, 14, 20
Informes de avance, 192
Informes de cambios, 192
Informes de estado, 192
Informes de problemas, 192
Ingeniería, 20
Ingeniería civil, 17
Ingeniería de sistemas, 34
Ingeniería del valor, 34
Interfase(s), 21
Formas de, 171
Interfase bi-direccional, 173
Interfase compleja, 172
Interfase simple, 171-172
Líneas de Balance, 120-124
Holguras de, 121
LOB (Line of Balance Method), 15
Mano de obra, 133
Mantención de programas, 174
Maquinarias, 134
Materiales, 23, 133
Medición del avance físico, 192-195
Meta, 20, 49
Método comienzo-término, 193
Método de Líneas de Balance, 15
Método del Camino Crítico, 14, 61, 67, 68
Método del Diagrama de Precedencia, 15, 61, 75
Método del Gráfico de Velocidad, 15
Métodos de planificación, 58
Métodos probabilísticos, 93
Misión del proyecto, 34
Modelo, 23
Neale, D.E., 56
Neale, R.H., 56
Necesidad(es), 15, 16, 21
Nivel de detalle del programa, 44
Nivelación de recursos, 139-141
Niveles de planificación, 19
Nodo determinístico, 104
Nodo probabilístico, 104
Nombre de la actividad, 42
Número o código de la actividad, 43
Objetivo(s), 13, 14, 15, 17, 19, 20, 33
Obligaciones, 154
Obras, 11
Opinión subjetiva, 194
Optimización, 22, 24, 175
Ordenamiento, 20, 45
Organización(es), 13, 15, 22
Paquete(s) de trabajo, 38, 39
PDM (Predecence Diagramming Method), 15, 61, 75
PERT (Program Evaluation and Review Technique), 14, 61, 94-103

Plan, 13, 14, 20, 23, 33
Plan de construcción, 45
Plan de hitos, 50
Plan maestro, 20, 36, 37
Planeamiento, 24
Planificación, 11, 14, 15, 17, 18, 20, 21, 23, 26
Planificación estratégica, 19, 57
Planificación operacional, 19, 42, 58
Planificación táctica, 19, 58
Plazo, 13
PMI (Project Management Institute), 12, 25
Precedence Diagramming Method (PDM), 61
Presupuesto, 20, 33
Presupuesto al término (PAT), 196
Proceso(s), 13, 15
Proceso de planificación, 25, 56
Procesos de la planificación, 25
Producto, 13, 34
Programa de hitos, 50
Programa del proyecto, 20, 33
Programación, 24
Programación de recursos, 18
Programa maestro, 49
Programación Rítmica, 15, 113-119
Proyecto(s), 11, 15, 16, 17, 34
  Repetitivos, 113
Proyectos en problemas, 202
Razón de costo (método de), 193
Recursos, 12, 17, 20, 23, 33, 42
  Financieros, 134, 151
  Humanos, 23
Recursos ilimitados, 134
Recursos limitados, 134
Relación costo-beneficio, 34
Relación concurrente, 62
Relación explícita, 62
Relación implícita, 63
Relación precedente, 62
Relación descendiente, 62
Relaciones comienzo-comienzo, 77
Relaciones costo-duración, 177
Relaciones lógicas, 62
Relaciones múltiples en mallas, 78, 79
Relaciones término-comienzo, 76
Relaciones término-término, 77
Representación de relaciones, 62
Responsabilidad(es), 13
Restricciones, 33, 45
Restricciones administrativas, 45
Restricciones ambientales, 45
Restricciones de seguridad, 45
Restricciones físicas o técnicas, 45
Restricciones por oportunidad de inversión, 45
Restricciones por recursos, 45
Riesgo(s), 12, 13, 17, 26, 27
Satisfacción del cliente, 13
Secuencia, 20, 33
Seguimiento, 14, 24, 189
Simulación, 93, 106-108
  De Monte Carlo, 106
Sistemas, 21
Submallas, 170
Tarea(s), 13, 19
Técnica de Evaluación y Revisión del Programa, 14
Técnica de Evaluación y Revisión Gráfica, 15
Técnicas de planificación, 55, 57
Teorema Central del Límite, 97
Término del proyecto, 16
Tiempo, 20
Tipos de relaciones entre actividades, 64
Toma de decisión(es), 13, 14, 18
Turner, J.R., 12
Unidades completadas (método de), 193
Unidades equivalentes o ponderadas, 194
Valor ganado, 152, 197, 198
Varianza de costo, 197
Varianza de programa, 197
Walker, D., 23
Ward, S., 26
Work Breakdown Structure (WBS), 38
Work Packages, 38

BIBLIOGRAFÍA

Ahuja, H. N., Dozzi, S.P. y Abourizk, S.M., Project Management, Techniques in Planning and Controlling Construction Projects, 2nd. Ed., John Wiley & Sons, Inc., 1994.

Al-Bahar, J. F. y Crandall, K. C., "Systematic Risk Management Approach for Construction Projects," Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 116, N°. 3, September 1990, p. 533-546.

Amat, O., Frases y anécdotas del mundo empresarial, Ediciones Gestión 2000, S.A., 1995.

Bent, J. A. y Humphreys, K. K., Effective Project Management Through Applied Cost and Schedule Control, Marcel Dekker, Inc., 1996.

Callahan, M. T., Quackenbush, D. G. y Rowings, J. E., Construction Project Scheduling, McGraw-Hill, Inc., 1992,

Chapman, C. y Ward, S., Project Risk Management, John Wiley & Sons Ltd, England, 2003.

Construction Industry Institute, Project Control for Construction, Publication 6-5, Construction Industry Institute, The University of Texas at Austin, September, 1987.

Harris, R. B., Técnicas de redes de flechas y precedencias para construcción, Editorial Limusa, S.A., 1983.

Harrison, F. L. and Lock, F. Advanced Project Management, A Structured Approach, 3rd. Ed., Gower Publishing Company Ltd, England, 2004.

Horgan, M. O'C. y Roulston, F. R., Project Control of Engineering Contracts, E. & F. N. Spon Ltd, London, 1988.

Meredith, J. R. y Mantel, S. J., Project Management, a managerial approach, 3rd. Ed., John Wiley & Sons, Inc., 2005.

Moder, J., Phillips, C. y Davis, E., "Project Management with CPM, PERT and Precedence Diagramming", 5th. Ed., Van Nostrand Reinhold, 1995.

Mueller, F. W., Integrated Cost and Schedule Control for Construction Projects, Van Nostrand Reinhold Company, Inc., 1997.

Neale, R.H. y Neale, D. E., Construction Planning, Thomas Telford, London, 1990.

Pilcher, R., Project Cost Control in Construction, 2nd. Ed., Blackwell Scientific Publications, London, 1994.

Guía de los Fundamentos de la Dirección de Proyectos, Tercera Edición, (Guía del PMBOK), Project Management Institute, 2004.

Turner, J. R., The Handbook of Project-Based Management, McGraw-Hill Book Company, 1999.

Woodward, J. F., Construction Project Management, Thomas Telford Publishing, London, 1997.

TEXTOS UNIVERSITARIOS

El uso del enfoque de proyectos está cada día más difundido en las empresas y organizaciones tanto públicas como privadas, debido a los continuos desafíos que ellas deben enfrentar. Así, la Administración y Dirección de Proyectos se ha transformado en una capacidad de alto impacto y necesidad para el desarrollo de las organizaciones y empresas. Dentro de alla, hay dos funciones consideradas fundamentales: la Planificación y el Control de Proyectos.

Este texto tiene como propósito proveer a estudiantes, profesionales y lectores en general, de los principales conceptos, métodos y herramientas en el tema, con base en una síntesis de los aportes de la literatura y de las visiones y experiencias profesionales y académicas de los autores. El libro incluye, además, una gran cantidad de ejercicios y problemas para apoyar el proceso de aprendizaje de estas importantes materias.

EDICIONES UC